

ISSN 0370 - 4009 - N° 496 - Agosto 2022



Anales del Instituto de Ingenieros
Vol. 134, N° 2 - ISSN 0716 - 2340

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidenta

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Primer Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Segundo Vicepresidente

Cristian Hermansen Rebolledo

Tesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Protesorera

Marcela Munizaga Muñoz

Secretario

Germán Millán Valdés

Prosecretaria

Ximena Vargas Mesa

DIRECTORIO 2022

Hernán Alcavaga S.

Elías Arze Cyr

Dante Bacigalupo Marió

Marcial Baeza Setz

Fernando Bravo Fuenzalida

Juan E. Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Alejandra Decinti Weiss

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Rodrigo Gómez Álvarez

Mauro Grossi Pasche

Cristian Hermansen Rebolledo

Carlos Mercado Herreros

Viviana Meruane Naranjo

Germán Millán Valdés

Marcela Munizaga Muñoz

Juan Music Tomicic

Ricardo Nanjarí Román

Ricardo Nicolau del Roure G.

José Orlandini Robert

Jorge Pedrals Guerrero

Luis Pinilla Bañados

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Alejandro Steiner Tichauer

Luis Valenzuela Palomo

Ximena Vargas Mesa

René Vásquez Canales

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA

DE SISMOLOGÍA E INGENIERÍA

ANTISÍSMICA, ACHISINA.

Presidente: Jorge Carvallo W.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA

DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - CAPÍTULO

CHILENO, AIDIS.

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

HIDRÁULICA, **SOCHID**.

Presidente: Hernán Alcayaga S.

SOCIEDAD CHILENA

DE GEOTECNIA, SOCHIGE.

Presidente: Roberto Gesche S.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA

DE TRANSPORTE, SOCHITRAN.

Presidenta: Marisol Castro A.

PMI SANTIAGO CHILE CHAPTER.

Presidente: Alfonso Barraza San M.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN

EN INGENIERÍA, SOCHEDI.

Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

APRENDIZAJES EN INGENIERÍA, MODALIDAD VIRTUAL.

Presidenta: Silvana Cominetti C.

INGENIEROS EN LA HISTORIA PRESENTE.

Presidente: Ricardo Nanjarí R.

LA MUJER EN EL ESTUDIO Y EJERCICIO

DE LA INGENIERÍA.

Presidenta: Viviana Meruane N.

CALIDAD DE LA INGENIERÍA EN PROYECTOS DE INVERSIÓN.

Presidente: Ricardo Nicolau del Roure G.

EL HIDRÓGENO VERDE Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

Presidente: Cristian Hermansen R.

CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA.

EL ESTADO, SU EFICIENCIA, SU ROL

Y LOS DESAFÍOS FUTUROS.

Presidente: Jorge Pedrals G.

Presidente: Luis Nario M.

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Jorge Cauas Lama

Joaquín Cordua Sommer

Alex Chechilnitzky Zwicky

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Agustín León Tapia

Nicolás Majluf Sapag

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazin Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

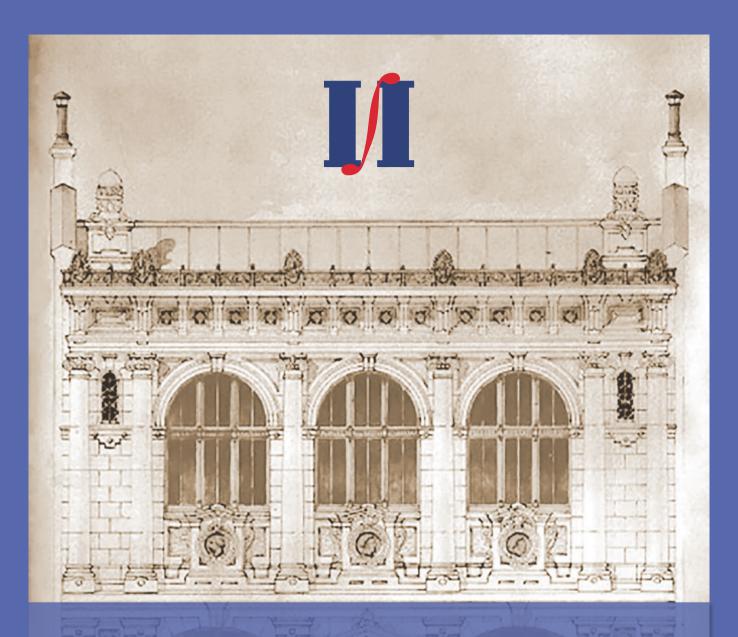
Solano Vega Vischi

Hans Weber Münnich

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández





Estimados Señores/as:

Informamos a usted, que nuestra página web www.iing.cl ya está disponible.

También puede acceder al enlace de Linkedin:

https://www.linkedin.com/company/64274333/admin/

Teléfonos (+56) 22696 8647 y (+56) 93736 0656

E-mail: iing@iing.cl - institutodeingenieros@gmail.com

Le saluda atentamente.

Carlos Gauthier T.

Secretario General Instituto de Ingenieros de Chile

ÍNDICE



Nuestra portada

Proyecciones Climáticas para Chile obtenidas con el Modelo PRECIS/ HadAM para fines de siglo (2070-2100) y bajo un escenario pesimista de fuertes emisiones de gases con efecto invernadero (A2/RCP8.5). La figura muestra el cambio de precipitación (relativo a la condición histórica) en colores (rojo: secamiento superior al 25%). Además, se proyecta un incremento de temperatura superficial de entre 2.5 y 3.5°C, más marcado sobre la precordillera y cordillera del centro-norte de Chile. El déficit pluviométrico junto al calentamiento alteran de manera significativa el régimen hidrológico en gran parte de nuestro país (gentiliza de René Garreaud, U. de Chile).

REVISTA CHILENA DE INGENIERÍA N° 496, agosto de 2022

Dirección: San Martín Nº 352, Santiago

Teléfonos: 22696 8647 - 22698 4028 - 22672 6997

www.iing.cl • e-mail: iing@iing.cl

DIRECTOR

Raúl Uribe S.

CONSEJO EDITORIAL

Álvaro Fischer A. Roberto Fuenzalida G. Tomás Guendelman B. Jaime Illanes P. Germán Millán P. Mauricio Sarrazin A.

REPRESENTANTE LEGAL

Silvana Cominetti Cotti-Cometti Dirección: San Martín N° 352, Santiago

SECRETARIO GENERAL

Carlos Gauthier T.

SECRETARÍA

Patricia Núñez G.

DIAGRAMACIÓN

versión productora gráfica SpA

INGENIERÍA EN TERRENO DURANTE LA CRISIS COVID EN CHILE

EDITORIAL

Pág. 3

Pág. 2

Conferencia del Sr. Leonardo Basso, Director del Instituto de Sistemas Complejos, ISCI.

ENERGÍA SOLAR EN CHILE: OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS

Pág. 23

Conferencia de la Sra. Claudia Rahmann, Directora del Centro de Energía Solar de Chile, SERC.

LA MEGA SEQUÍA EN CHILE CENTRAL. ¿LLEGÓ EL FUTURO?

Pág. 41

Conferencia del Sr. René Garreaud S., Director del Centro de Ciencia del Clima y la Resilencia (CR2)

GESTIÓN DE ESCASEZ HÍDRICA, HERRAMIENTAS DEL NUEVO CÓDIGO DE AGUAS

Conferencia del Sr. Cristian Núñez R., Director (S) de la Dirección General de Aguas, MOP.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS

Pág. 62

- Sr. José Antonio Guzmán Matta
- Sr. Roberto Fuenzalida González

EDITORIAL

La conferencias mensuales del Instituto de Ingenieros que tuvieron lugar en el segundo trimestre de 2022, se refirieron a algunos temas de gran relevancia para el país y para el planeta. Destacados especialistas abordaron: La crisis del COVID 19; Los desafíos de la energía solar y La mega sequía, que afecta gravemente a la zona central del país. Todas estas conferencias se incluyen en forma completa en esta edición de la Revista Chilena de Ingeniería.

En marzo, el Ing. Leonardo Basso, Director del Instituto de Sistemas Complejos, ISCI, dictó la conferencia titulada "Ingeniería en terreno durante la crisis COVID en Chile". El Sr. Basso ha estado involucrado activamente en Iniciativas ISCI para colaborar en la crisis COVID 19, realizando, junto con su equipo, un Programa Nacional de Vigilancia del IgG anti Sars-Cov-2 para informar los efectos de las diferentes vacunas en el tiempo y apoyar las decisiones de dosis de refuerzo. El trabajo que realizó el equipo bajo su dirección es finalista del Internacional Franz Edelman Award 2022 a la mejor intervención de ingeniería aplicada, compitiendo con Merk, Janssen, General Motors, US Census Bureau y Alibaba. Durante su presentación dio a conocer en forma amplia y detallada varias iniciativas en las que han trabajado a lo largo de dos años, tales como: movilidad, testeo estratégico, análisis del estudio de Seroprevalencia de IgG y de predicción de camas UCI.

En el mes de abril, la Sra. Claudia Rahmann, Directora del Centro de Energía Solar de Chile, SERC, dictó la conferencia "Energía solar en Chile: oportunidades y desafíos". Señaló que la principal motivación que condujo a su equipo a hablar de la energía solar en Chile se debió al potencial que exhibe el norte grande del país, que se podría abastecer más de cuatro veces la energía que se consume en toda América Latina; 18% del consumo mundial y aproximadamente 60 veces el consumo nacional. Estas cifras subirían considerablemente si se instalaran 200.000 MW en paneles solares cubriendo aproximadamente 6.000 km² con paneles fotovoltaicos. Hoy en día, la tendencia mundial busca proteger al planeta del cambio climático, temas cada vez más relevantes y que estimulan a empresas para considerar instalarse en Chile.

En julio, el Sr. René Garreaud S., Director del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), dictó la conferencia "La mega sequía en Chile Central. ¿Llegó el futuro?". Se pregunta el señor Garreaud si las bajas precipitaciones nos sugieren: ¿ya llegó el futuro?, ¿vamos a continuar en este este clima tan seco?, ¿va a haber alguna reversión? Preguntas muy importantes y que la comunidad científica todavía no puede definir con certeza. No obstante, su incertidumbre, el futuro es abierto, pero con los datos derivados de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y con los modelos desarrollados sobre el tema, se podría determinar un escenario crítico y una estrategia de acción.

La última conferencia del trimestre la dictó el Sr. Cristian Núñez R., Director (S) de la Dirección General de Aguas, MOP, titulada "Gestión de escasez hídrica, herramientas del nuevo Código de Aguas". En primer término, se refirió a nuevas materias regulatorias para enfrentar el período de adaptación al cambio climático y la prolongada sequía. Señaló que el 6 de abril se promulgó el nuevo Código de Aguas, ya en pleno proceso de implementación, modernizando la gestión del recurso hídrico. Este Código entrega nuevas atribuciones, en el marco del uso del agua, del proceso de fiscalización que debe realizar la DGA, ampliando las labores y herramientas de gestión para la escasez, dirigidas a la gran sequía que ha afectado la zona centro y sur del país en los últimos diez años. En términos generales, el nuevo Código establece cuatro ejes prioritarios, entre los que destaca la priorización del consumo humano.

Finalmente, se incluyen en esta edición, las entrevistas a los ingenieros José Antonio Guzmán Matta y Roberto Fuenzalida González, de destacada y dilatada presencia en el país y en el Instituto.

"INGENIERÍA EN TERRENO DURANTE LA CRISIS COVID EN CHILE"

Conferencia Sr. Leonardo Basso Sotz, Director del Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería ISCI.



Sr. Leonardo Basso Sotz.

El día miércoles 30 de marzo de 2022, a las 11:00 horas –vía zoom–, ante personalidades del ámbito académico, público y privado, se realizó la conferencia del Sr. Leonardo Basso Sotz, Director del Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería – ISCI, quién expuso el tema "Ingeniería en Terreno durante la crisis COVID en Chile".

Leonardo Basso es Ingeniero Civil y Magister en Ingeniería de Transporte de la Universidad de Chile. Doctor en Economía y Políticas de Transporte de la Universidad de British Columbia.

Co-editor en Jefe de Economics of Transportation. Ha sido integrante del Senado Universitario 2018-2022.

Actualmente, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Director del Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería – ISCI.

El Sr. Basso ha estado involucrado activamente en Iniciativas ISCI para colaborar en crisis COVID-19 realizando junto con su equipo un Programa Nacional de Vigilancia del IgG anti Sars-Cov-2 para informar los efectos de las diferentes vacunas en el tiempo y apoyar las decisiones de dosis de refuerzo. Trabajo que es finalista del internacional de INFORMS, Franz Edelman Award 2022 a la mejor intervención de ingeniería aplicada, compitiendo con Merk, Janssen, General Motors, US Census Bureau y Alibaba.

Sr. Leonardo Basso.

—Es un gran placer ser el invitado del Instituto de Ingenieros de Chile a esta conferencia que hemos llamado: Ingeniería en terreno durante la crisis COVID-19 en Chile. Y quiero partir diciendo que la presentación la hago en representación del trabajo de un grupo realmente muy grande de muchos ingenieros (as) y personas de otras profesiones; estamos hablando aquí a nombre de los investigadores y también de los estudiantes de pre y postgrado y de cientos de personas que trabajan en el área de salud que llevaron adelante esta iniciativa, también de los colegas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile y otras personas que voy a ir nombrando en el transcurso de mi exposición (Figura 1).



Figura 1

Parto con algo de propaganda: soy académico en la Universidad de Chile y director del Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería, ISCI, que es un Centro de excelencia en el que confluyen investigadores de diferentes universidades y disciplinas de la ingeniería y economía. ISCI tiene que desarrollar investigación científica y tecnológica, pero luego es muy relevante lo que dice el último párrafo y es que tiene como deber vincularse con el entorno productivo y público, para transformar la investigación de frontera en soluciones a problemas reales, y el COVID era un problema muy real que requería de soluciones (Figura 2).

Entonces, decidimos muy tempranamente, en marzo del 2020 orientar gran parte de nuestros conocimientos y recursos a la lucha contra el COVID. Algo que conversábamos antes con la Presidenta del Instituto es que nosotros quisimos desde el principio llegar a terreno, es

decir, proponer soluciones que contuvieran los elementos necesarios para ayudar a contener esta crisis, pero que pudieran estar en terreno y, en ese sentido, trabajamos en control de contagio, trabajamos en centros de salud para mejorar el uso de infraestructura, para mejorar el uso o manejo del personal crítico, hospitales y atención domiciliaria y un análisis siempre permanente de lo que pasaba en términos del impacto socioeconómico.



Figura 2

Acá están listadas todas las iniciativas (Figura 3) que llevamos adelante a lo largo de 2 años y les voy a hablar de cuatro: movilidad, testeo estratégico, análisis del estudio de Seroprevalencia de IgG y de predicción de camas UCI. Y abajo en la lámina, tengo el disclaimer de que todo esto ha sido hecho con recursos propios y que no se recibió nunca aporte pecuniario del Gobierno ni de otra entidad, nada fue bajo contrato, todo fue mediante convenios de colaboración que nos permitían acceder y compartir información, pero sin traspaso de dinero.



Figura 3

Una manera diferente de ver las cuatro cosas que les mostraré tiene que ver con qué es lo que fue pasando durante la pandemia. Acá está marzo de 2020 y llegamos hasta diciembre de 2021. Lo primero que ocurrió fue que en marzo 2020 cuando el índice de carga, es decir el número de casos por habitantes era alto, comenzaron las cuarentenas. Así entonces, nosotros comenzamos a trabajar con el análisis de movilidad, además de ir avanzando en la propuesta de un testeo más masivo.

Cuando ustedes ven que en julio 2020, el uso de las camas UCI estaba alcanzando el 90 por ciento incluso más y en ese momento, cuando el uso de las camas UCI estaba cerca de su capacidad, comenzamos con nuestra iniciativa de predicción de demanda por camas UCI de corto plazo, porque esa era la urgencia en este momento.

Con posterioridad, cuando pasó la primera la primera ola y pasó la urgencia UCI, las positividades comenzaron a bajar y una vez que eso ocurrió, había que pasar a la ofensiva: ya no solo detectar los casos sintomáticos, sino tratar de detectar los casos activamente, de manera de controlar los futuros brotes y, por lo tanto, en agosto del 2020 comenzamos con lo que nos llevó a la iniciativa de testeo por movilidad o lo que la gente de Salud conoce como los mapas de calor; les voy a mostrar por qué se llaman de esa manera. Y en diciembre 2020, antes de que llegara la vacuna, comenzamos a estudiar la Seroprevalencia. La idea era poder tratar de entender cuánto había avanzado la enfermedad en la población antes de que empezaran a vacunar, es decir, cuál era la situación real en términos de cuánta gente se había contagiado. Y, finalmente, comenzaron las vacunas muy rápidamente y por lo tanto lo que comenzamos a hacer en marzo 2021, cuando vino el despliegue de la vacunación, fue una vigilancia dinámica de IgG de nuevo, esto es, detectar el anticuerpo anti Sars-Cov-2 especifico, que es la primera línea de defensa que aparece y estudiar eso para así entender el efecto de las vacunas (Figura 4).

Como bien decía la Presidenta, les voy a hablar de estas cuatro iniciativas que están empaquetadas en un proyecto que está compitiendo para el Premio Franz Edelman Award, que es un premio que se entrega una vez por año a aquellas iniciativas de analítica que hayan "cambiado el mundo". El año pasado por ejemplo ganó el World Food Program de la ONU y este año el lunes 4 de abril se sabrá quién es el ganador, donde compite Alibaba, General Motors, compite Chile por esta alianza entre los Ministerios de Salud, el de Ciencia, el Instituto de Sistemas Complejos de

Ingeniería y Entel, contra competidores muy grandotes y con altos recursos cómo Janssen Pharmaceutical of Johnson & Johnson, Merck Animal Health, el US Census Bureau. Entonces, lo que les voy a contar ahora es esencialmente lo mismo que vamos a ir a contar el lunes 4 de abril de la próxima semana en Houston (Figura 5).

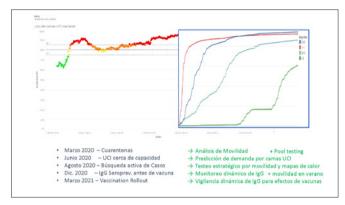


Figura 4



Figura 5

Vamos a comenzar por movilidad: esta es una iniciativa que llevamos adelante en particular junto con Entel Ocean y con el apoyo grande y abierto del Ministerio de Ciencias. Lo que sabíamos desde el principio, porque mirábamos lo que pasaba en Europa, era que ante el primer golpe inesperado de esta pandemia la primera herramienta a la que se iba a echar mano eran cuarentenas. Sabíamos entonces, por ejemplo, de China, que había unas estrategias de cuarentenas que eran brutales pero efectivas. En Italia también habían comenzado con una cuarentena muy brutal porque el virus corría rampante y lo que nosotros queríamos hacer era saber cómo nos iba con las iniciativas de cuarentena en Chile (Figura 6).



Figura 6

Esto es importante porque nos habíamos dado cuenta ya que los cambios en las infecciones, a pesar de que había cierres de colegios, a pesar de que había cuarentenas localizadas, a pesar de que había cuarentenas totales, afectaban de manera diferente a distintas comunas. A pesar de que tenían las mismas medidas de cuarentena, el efecto sobre infecciones era diferente y por lo tanto nosotros pensábamos que esto ocurría por diferencias en movilidad, es decir cuánto se están cumpliendo o no las cuarentenas. Lo que quisimos hacer fue ir a estudiar esto de buena manera; lo primero que pensamos fue utilizar la información de movilidad que tenía Google, pero ésta resultó no ser lo suficientemente granular. Entonces lo que hicimos en ese momento, como pueden ver aquí a la derecha, es que firmamos una alianza de colaboración para hacer geointeligencia con Entel y con su unidad de negocios digital que es Entel Ocean (Figuras 7 y 8).

Y lo que hicimos fue estudiar de manera agregada y anónima todas las conexiones de teléfonos celulares a la infraestructura de telefonía celular. Lo que hacíamos esencialmente al observar donde estaban instalados grupos de aparatos en la noche, era lograr decir, "bueno, este aparato vive en esta zona censal". –No mirábamos nada más pequeño que una zona censal por razones de anonimización; y luego observábamos los movimientos de esos diferentes celulares a distintos lugares, entonces veíamos sus lugares de destino y eso nos permitía construir matrices de origen y destino con estos datos de telefonía a nivel de zona censal (Figura 9).

De esta manera generamos, primero, un sitio que se llamaba ISCI Covid Analytics en el que comenzamos a mostrar esta información de movilidad que íbamos generando semanalmente y a analizarla (Figura 10).



Figura 7

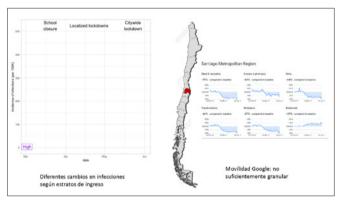


Figura 8



Figura 9

Este visor se hizo público y acá hay una muestra de cómo funciona el visor de movilidad por comunas. Permite compararse contra el cero por ciento que eran las últimas semanas normales y ver en cuanto bajaba la movilidad cada semana por comuna. El visor permitía, por ejemplo, comparar a Santiago con Providencia; las bolitas de colores muestran en qué estado del plan paso a paso estábamos:

si era cuarentena, apertura u otra. Se podía ir viendo qué es lo que iba pasando con la reducción de movilidad en cada una de las comunas, y por regiones; los gráficos y los datos crudos son descargables, pero también están desde hace mucho tiempo en el github del Ministerio de Ciencia (Figura 11).



Figura 10



Figura 11

¿Qué cosas fuimos aprendiendo? Por ejemplo, durante la primera cuarentena total lo que observamos rápidamente es que los estratos de las comunas de mayores ingresos, como Las Condes, lograban reducir su movilidad de manera mucho más importante que aquellas comunas de menores ingresos y más periféricas; esto fue algo que observamos desde el principio y permite entender por qué las infecciones también avanzaban a ritmos diferentes. Esta diferencia en la capacidad de responder a la cuarentena total de cada

una de las comunas fue súper relevante, porque ayudaba a focalizar la ayuda para que la gente pudiera cumplirla (Figura 12).

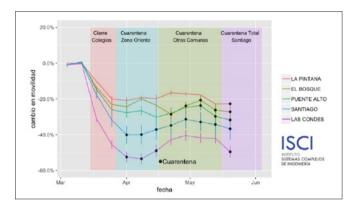


Figura 12

Otra cosa que aprendimos mirando datos de movilidad, por ejemplo, es que cuando uno ve acá el sector Oriente de la región metropolitana -mientras más oscuro es el azul quiere decir que mayor es la reducción de entradas esa zona censal- las entradas sí disminuyeron mucho. Pero, por otra parte, la respuesta en el resto de la ciudad fue muy desigual, habiendo incluso zonas donde las entradas aumentaron con respecto a una semana normal, es decir, la gente comenzó a moverse; pero ustedes pueden ver que, típicamente, los viajes fuera de cuarentena van hacia el sector centro, pero aquí aparecen muchos viajes pendulares hacia la periferia. Y lo que detectamos es que casi todos ellos están asociados a la instalación de ferias libre, es decir, en plena cuarentena, la gente se movilizaba hacia las ferias libres, posiblemente por dos razones, una para ejercer actividad económica, la que era posiblemente informal y, segundo, abastecerse cuando además en las periferias, debido al estallido social, había severos problemas de abastecimiento, por lo tanto, logramos demostrar muy rápidamente esta desigualdad en las reacciones (Figura 13).

Estudiamos también el problema de manera econométrica y estadística y observamos esta diferencia de cambios en movilidad, pero cuando uno trata de entender de qué manera la movilidad afecta a las infecciones descubrimos dos cosas. Uno, la mayor movilidad implica más infecciones sin duda, pero, además, importa desde dónde y hacia dónde se está yendo, es decir, si la movilidad es desde una zona con altos contagios a otra zona de altos contagios, eso va a inducir más infecciones que si es que esa movilidad se

hace desde zonas con menos contagios a otras zonas con menos contagios; también esto es importante porque nos ayudó para definir una estrategia respecto de dónde ir a buscar casos activos asintomáticos (Figura 14).

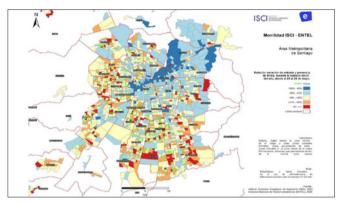


Figura 13



Figura 14

Cuando se abre la ciudad, que se abrió por partes después de la primera cuarentena, entonces lo que observábamos era que la zona gris del sector oriente podía moverse y efectivamente lo que uno observa es que hay un aumento del 10% de movilidad de una zona confinada a una desconfinada, pero la pregunta relevante era si esta frontera era una frontera permeable o no y lo que se observa es que hay un aumento desde las zonas confinadas hacia las zonas desconfinadas de 6,5%, es decir cuando se prendían y apagaban cuarentenas localizadas, de todas maneras eso generaba una presión hacia movimientos que no debiesen haber estado ocurriendo, que eran adicionales y esto permitía generar mayor información respecto de, cuando por ejemplo, convenía o no pasar a una cuarentena total y no solo localizada (Figura 15).

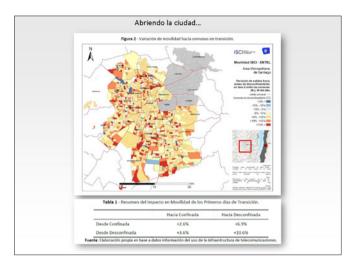


Figura 15

Cuando llegó el verano hicimos también, a petición de la Subsecretaria de Salud Pública, un análisis súper específico respecto del movimiento inter regional. La idea era qué si yo estoy mirando, por ejemplo, Pucón ¿de dónde viene la gente que llega a Pucón? ¿de qué otras comunas? Esto era importante porque si venían personas desde comunas con altos índices de contagio, entonces uno podía pensar que ese era un lugar donde había que, en particular, ir a poner recursos nacionales en verano: carabineros y los recursos del Ministerio de Salud para testeo y prevención. La pregunta era dónde es urgente ponerlos, dónde creemos nosotros que va a ser más urgente y eso depende de dónde vienen los veraneantes (Figura 16).

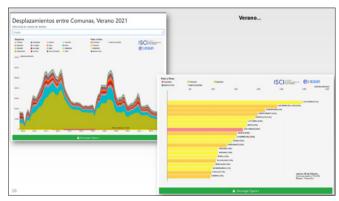


Figura 16

Ahora ¿cuál fue el panorama completo? Ustedes pueden ver que los datos están hasta el 29 octubre de 2021 partiendo en marzo del 2020. Lo que se puede ver es que cada

cuarentena siguiente tenía un impacto en la movilidad que era cada vez menor. Es decir, cada nueva cuarentena tenía un impacto menor y de menor duración. Las cuarentenas se iban acabando en el comportamiento de la gente y lo otro que uno podía observar siempre, es que este este fenómeno de fatiga de la cuarentena ocurría en todas las comunas, para todos los estratos sociales y siempre fue cierto que la movilidad era mayor mientras menor era el ingreso de la comuna (Figura 17).



Figura 17

El panorama completo está acá: en las primeras grandes cuarentenas el promedio nacional de disminución de movilidad fue solo 31,8%, esto era súper relevante, porque cuando había conversaciones respecto de si hibernar o no Santiago, la verdad es que conseguimos en la primera gran cuarentena una reducción de movilidad de sólo 31,8% en promedio; la cuarentena en Milán consiguió un 80% de reducción de movilidad. Entonces cuando todos pensábamos que 50% era un número bueno, la verdad es que no tuvimos esos números tan buenos al principio, a pesar de que funcionó la primera cuarentena, pero más lentamente. Pero la segunda cuarentena tuvo una disminución de movilidad de solo un 18,1%, es decir 8 de cada 10 viajes se realizaban igual, a pesar de que estábamos en cuarentena total y, por lo tanto, son antecedentes que eran tremendamente relevantes a la hora de decidir cuáles eran las intervenciones siguientes, porque en este momento, para esas esas cuarentenas, ya existía apoyo financiero importante (Figura 18).

Quiero cerrar lo de movilidad, diciendo que esto tuvo un impacto público muy importante: sirvió para las autoridades, pero para el público general también, porque informaba respecto de esto que estaba pasando y cómo nos estaba yendo. Fue muy útil en la discusión pública creemos nosotros, hubo más de 25 entrevistas de televisión, 35 entrevista en radio y más de 125 apariciones en los diarios (Figura 19).



Figura 18



Figura 19

La iniciativa siguiente de la que les quiero hablar es la proyección del corto plazo de la demanda de camas UCI y se puede entender de la siguiente manera. Cuando teníamos los casos de aumento más importante acá en junio de 2020 y a principios de 2021 primer semestre, tuvimos aumentos de uso de camas UCI que nos llevaron casi a plena capacidad: las camas se estaban literalmente acabando, ustedes tal vez recuerden que se hablaba del dilema de la última cama (Figuras 20 y 21).

A mayo 20 lo que pasaba en las camas en la Región Metropolitana era que había ocupaciones del 93% hasta el 99% en la zona Occidente: las camas estaban acabándose a pesar de que habían llegado a suficientes ventiladores Lo que se necesitaba era urgentemente información de lo

que sucedería en el corto plazo. Los modelos epidemiológicos dicen esto es lo que va a ir pasando a dos meses o tres meses, pero la pregunta que era mucho más relevante y lo que nos pidieron ayudar a contestar era: ¿pueden decirnos qué es lo que vamos a necesitar a una semana plazo? (Figura 22). Lo que hicimos entonces fue construir un modelo en el que los casos sintomáticos se transformaban de alguna manera en demanda por camas UCI, que se mantenían en uso durante un cierto tiempo para eventualmente salir (Figura 23).



Figura 20

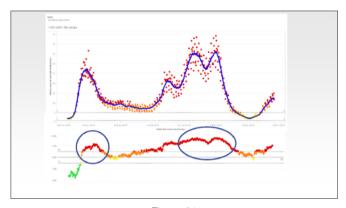


Figura 21

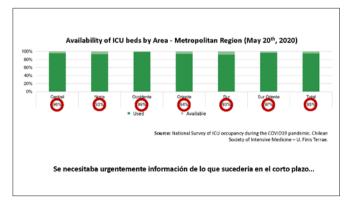


Figura 22

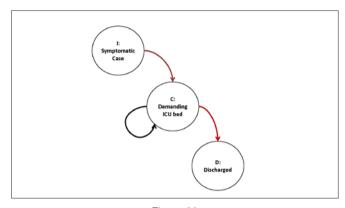


Figura 23

Lo que construimos fue un modelo ICD en el que los datos de contagios iban generando demanda por camas UCI que se iban sumando porque entraban los de la semana anterior con lo de la semana que viene, y unos se mantenían más y otros se mantenían menos, mientras que otros iban saliendo. Esto, por supuesto es un proceso muy complejo porque los ingresos a UCI dependen de quienes se están enfermando, de cuáles son las edades y, por otra parte, la salida, por supuesto, también era sumamente variable: algunas personas que llevan poco tiempo en UCI se quedan mucho más tiempo, algunos batallaban mucho tiempo, otros batallaban poco tiempo, algunos fallecían muy rápidamente (Figura 24).

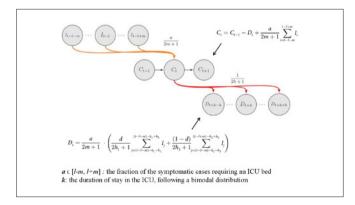


Figura 24

Para complicar más el modelo predictivo, había cuatro problemas grandes: estaban todos los problemas de datos que se demoraban, es decir había datos que no estaban a tiempo, había datos que faltaban porque estábamos en una pandemia y esto era realmente muy complicado; además el virus iba cambiando y, algo muy relevante, es que el personal médico iba aprendiendo a manejar de diferente manera los cuadros severos.

Lo que hicimos con este modelo entonces fue, para poder manejar todo este tipo de diferentes fenómenos que iban ocurriendo, sumar al modelo compartimental ICD, que íbamos construyendo y que íbamos calibrando y que había llevado tiempo, una serie de modelos auto regresivos y de aprendizaje de máquinas, que son capaces de capturar más en una suerte de caja negra cuáles son estas cosas que van cambiando y llevarlas hacia adelante. Combinamos todos estos modelos en un *ensamble* con los datos que íbamos obteniendo del github del Ministerio de Ciencias y otras fuentes asociados a SOCHIMI, para generar luego un promedio en el que eliminábamos las predicciones extremas, generando así nuestra mejor predicción (Figuras 25 y 26).

Cuando nos pidieron esto y nos preguntaron si lo podíamos hacer, nos demoramos 48 horas en generar la primera predicción y desde ese momento generamos 58 reportes a lo largo de toda la pandemia, cada dos, tres o cuatro días durante las dos olas más críticas. Lo que generamos como reporte era algo que fuese intuitivo y simple de mirar en la mesa de crisis a las 7:00 h de la mañana al día siguiente, y lucía más o menos de esta manera. En el ejemplo, para la región metropolitana se necesitan 102 camas a una semana y 185 camas a dos semanas. Arica y Parinacota no se necesita nada y en Antofagasta van a liberarse 3 a 4 camas. Por ejemplo, Coquimbo mostraba, esto es lo que ha venido pasando en una semana se va a liberar una cama y en dos semanas se van a liberar dos camas, esta es nuestra mejor predicción. Basado en estos cuatro modelos para el caso de Biobío se liberan cuatro camas y se liberan otras 10 después de dos semanas (Figura 27).

Generamos 58 de estos reportes que tengo que decir que fueron una agonía, porque nosotros mirábamos y mirábamos que esto no paraba de crecer. Y quise mostrar esta diapositiva de la Región Metropolitana porque demuestra lo complicado que fue: la predicción, incluyendo camas de urgencia que estaban siendo usadas como UCI al 20 de junio, decía que se iban a necesitar 269 camas adicionales a una semana en la Región Metropolitana y 352 a

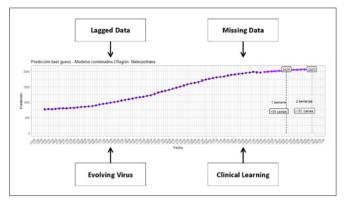


Figura 25

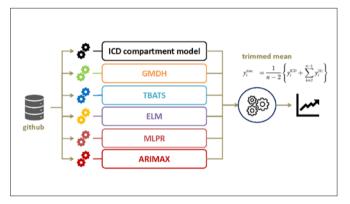


Figura 26

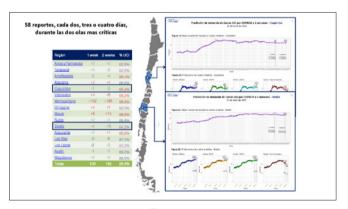


Figura 27

dos semanas. Esto era muy tremendo. Esto se entregaba al Ministerio de Ciencia, a Redes Asistenciales y a la Sociedad Chilena de Medicina Intensiva, cada dos días en las noches y permitía guiar dónde poner los esfuerzos por inventar más camas, donde poner esfuerzo respecto del traslado de pacientes críticos de un sector a otro. Les comento que el equipo con el que trabajábamos respiramos

cuando las predicciones comenzaron finalmente a mostrar que las curvas se comenzaron a aplanar y, luego, cuando esta parte de la crisis pasó, nos dirigimos a otros esfuerzos.

Con esta iniciativa fuimos semifinalistas de un premio en innovación en aplicaciones innovadoras de analítica y publicamos un paper en Plos One, donde contábamos todo lo que hicimos. Cuantificamos el impacto y pusimos a disposición del mundo una guía de usuario respecto de cómo construir esto en base a los datos, códigos incluidos. Algo muy relevante es que el error histórico del modelo ensamblado fue muy bueno: en promedio el error del modelo predictivo fue de 4% a una semana y de 9% a 2 semanas, un excelente resultado profundamente útil para las autoridades (Figuras 28 y 29).



Figura 28

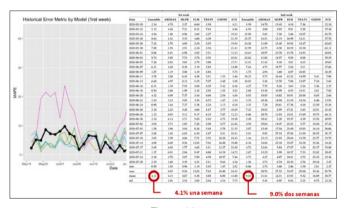


Figura 29

Eventualmente, teníamos la urgencia de entender qué pasaba con la movilidad como una manera de poder saber qué es lo que iba a pasar con las infecciones; teníamos el problema de qué hacer con las camas críticas, cuántas

camas críticas hay que ir generando y donde y cuáles eran las necesidades. Al mismo tiempo, necesitábamos testear cada vez más. Cuando comenzó la crisis, Chile tenía la capacidad de hacer 3.000 PCR; esa era la capacidad inicial. A los dos meses habíamos pasado a una capacidad de 20.000 PCR, todo esto empujado por la labor de la Subsecretaría del Ministerio de Ciencia que sumó laboratorios privados y laboratorios universitarios a este a gran desafío.

Pero necesitábamos testear más, entonces nos pusimos a trabajar en ello para contestar las preguntas de cómo testear más, cuándo testear y dónde testear (Figura 30).



Figura 30

Respecto a la pregunta cómo testear, lo que hicimos junto con los partners de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, fue proponer algo que acá un diario llama revolucionario, es un sistema para testear más, pero resulta que es antiguo: es el testeo grupal o el test 10 por 1. La nota en La Cuarta le llamaba testeo en patota, que es muy gracioso, pero como esto es un poquito más en serio no la puse. Y la idea es muy sencilla y es que le tomamos muestras a 5 ó 10 personas y esa muestra se divide en dos, una muestra que queda guardada y otra muestra que se combina en una sola y el PCR se hace a la muestra combinada que representa a 5 ó 10 personas. Si esa muestra sale negativa entonces yo sé que esas 10 personas no están contagiadas; si la muestra sale positiva, es que hay al menos una persona contagiada y lo que se hace es que se busca la muestra individual, no se necesita tomar de nuevo, y se testean individualmente. Cuando la prevalencia es baja de la enfermedad, muchas de estas muestras agrupadas van a salir negativas y, por lo tanto, vamos a poder testear muchas más personas con pocas PCR. Eso era una forma muy relevante de poder multiplicar la capacidad de testeo, usando menos PCR para cubrir a más gente, y funciona muy bien cuando las positividades no son demasiado altas. Y lo que es interesante es que funciona bien incluso para positividades del 20 por ciento. Y cuando las positividades son menos del 10%, los ahorros son muy sustantivos.

Hicimos los cálculos, y en la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile comprobaron que el testeo grupal funciona, en el sentido de que no hay efecto dilución, es decir, no se nos arrancan casos positivos por el hecho de combinar muestras. Nosotros fuimos al comité asesor del MINSAL a presentar, y propusimos adoptar la estrategia de examen grupal. Propusimos además probarlo haciendo testeos en los hogares de adultos mayores, no porque hubiera casos sino como una manera de tratar de controlar que esos casos no ocurrieran. Si uno quiere ir a un lugar donde no hay casos, entonces es mucho mejor usar este sistema grupal que usa pocas PCRs. Lo que hicimos junto con la Facultad de Medicina, con la Asociación Chilena de Seguridad y con el Servicio Nacional del Adulto Mayor (Senama), fue ir a dos hogares de personas mayores y testear a todo el mundo una vez por semana, tanto al personal como a los residentes. Tuvimos resultados muy interesantes porque testeamos a todo el mundo con un 30% de los PCR que se habrían necesitado para hacer esta vigilancia activa con tests individuales, y encontramos casos: fuimos capaces de detectar a personas que estaban contagiadas pero que estaban asintomáticas y que en menos de 24 horas fueron aisladas. Esto permitió controlar que no hubiera un brote en un hogar de personas mayores, donde es profundamente dañino porque son personas vulnerables. De paso, hicimos dos cosas: validamos el testeo grupal, pero, por otra parte, comenzamos a buscar casos activamente entre los asintomáticos. De hecho, este fue el momento en el que se agregó a Epivigila una columna que permitía avisar cuando se trataba de una búsqueda activa de casos, porque si no, cada vez que aparecía una persona con una PCR tomada, se asumía que tenía síntomas y por lo tanto quedaba con obligación de aislarse. Al haber ahora una columna de búsqueda activa de casos, quedaba claro que esa persona se había hecho el test solo por precaución (Figura 31).

Eventualmente, por medio de este documento, del 1 de septiembre de 2020, el uso de testeo grupal se convirtió en una estrategia nacional; a la fecha de hoy, aproximadamente el 20% de los exámenes PCR se hacen en testeo grupal, lo que quiere decir que esos PCR representan a entre 5 y

10 personas más que el número de testeos de hoy, por lo tanto, la capacidad de testeo ha aumentado muchísimo. Casi todo lo que se hace, por ejemplo, en el aeropuerto es testeo grupal. Publicamos también un artículo respecto de cuál era el efecto de la correlación en testeo grupal, particularmente importante cuando se están testeando comunidades, que hacía aún más efectivo este testeo grupal y generamos una llamada "calculadora de pool testing", que nos permitía demostrar que es muy eficiente, incluso para prevalencias del orden del 20% y permitía calcular cuál es el tamaño de los grupos. En Israel usaban grupos de hasta 32 (Figura 32).



Figura 31

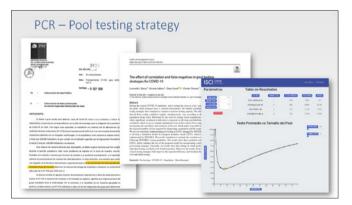


Figura 32

Ahora, cuando aparecía un caso comunitario en lugares hacinados, lo que hacía el Ministerio de Salud era decir, vamos a buscar si es que hay otros cerca de ese caso contagiados. El problema ahora es que las positividades están más bajas y era difícil ir a buscar activamente esos casos ya que, como vimos en movilidad, Chile se movía y, por lo tanto, lo que pasaba es que si había un caso,

una persona que había sido contagiada por otra y no se enteraba hasta 6 días después, esa persona se movía por la ciudad y se llevaba el virus a otra parte, y en ese otro lugar contagia a otras personas, por lo menos durante 3 días, sin tener síntomas ella misma o sin nunca tenerlos, entonces ¿cómo buscamos los casos activamente si Chile se mueve? y acá voy a usar el ejemplo de Valdivia. En un cierto momento la densidad de casos estaba dado por este mapa, mientras más rojo más casos por metro cuadrado y sin embargo, uno asume que por ahí mismo otras personas se contagiaron tomándose el Mate o, como los chilenos somos buenos para abrazarnos y darnos besos, se contagió ahí y al día siguiente se fue a trabajar. Y se fue a trabajar a otros lugares como lo indica el mapa de movilidad que es el del medio. Entonces claro, tengo los casos acá, pero si voy a estar aquí, al día siguiente no los voy a encontrar porque se movieron todos (Figura 33).



Figura 33

Entonces ¿cómo los busco? Lo que hicimos en ese momento fue iniciar el testeo estratégico por movilidad, para orientar la búsqueda activa de casos, algo que fue conocido como el índice BAC o 'los mapas de calor' (Figura 34).

El objetivo es identificar zonas en diferentes ciudades y comunas en la que pudiéramos priorizar el testeo para búsqueda activa de casos en horario laboral, por lo tanto, el enfoque tenía que estar en zonas de destino y no en zonas de residencia. ¿Cuál es la metodología? Creamos un índice que permitía priorizar las zonas censales donde poner el carrito de PCR y esto se mezclaba de manera lo más inteligentemente posible y se nos ocurrió recurrir a los datos de movilidad que llevábamos generando desde abril de 2020, con los datos epidemiológicos que obteníamos mediante un convenio con el Ministerio de Salud y el

Ministerio de Ciencia, similar al que tiene iCOVID para generar el indicador. El índice BAC debía reflejar el flujo de casos activos, la positividad, pero sobre todo la probabilidad de capturar casos activos asintomáticos durante el operativo. Es decir, si yo pongo un carrito de toma de PCR para BAC, quisiera testear a mucha gente y maximizar la probabilidad de capturar casos activos asintomáticos. Se trata de una especie de maquinaria para ir a un pajar y clavarse la aguja a propósito (Figura 35).



Dónde testear? Testeo estratégico x movilidad para orientar la Búsqueda Activa de Casos

El índice BAC

Figura 34

Dónde testear: Índice BAC y mapas de calor

- Objetivo: identificar sectores en las diferentes ciudades y comunas en las que priorizar testeo para búsqueda activa casos (BAC) en horario laboral
 - Enfoque en zonas de destino, no de residencia
- Metodología: creación de un índice que permita priorizar las zonas censales, usando
 - · Datos movilidad (ISCI-Entel)
 - Datos Epidemiológicos (Minsal convenio con SSSP y MinCiencia)

Índice BAC debe reflejar "flujo de casos activos", la "positividad" y la **probabilidad** de capturar casos activos asintomáticos durante el operativo

Figura 35

Lo que teníamos entonces era las zonas censales de origen y nos interesaba por ejemplo la Zona censal *i*, entonces, nosotros sabíamos que en la zona censal 1 hay una cierta cantidad de casos conocidos, y en las otras zonas censales *N* otros. Además, conocemos la información de población flotante, por lo tanto, sabemos cuánta gente va a la zona censal y desde cada zona, y luego hacemos una estimación de población flotante activa asintomática, basado en los casos conocidos que hay, y en base a estas dos cosas generamos este índice BAC, usando la información de la semana anterior que permite proyectar la semana siguiente (Figura 36).



Figura 36

Por tiempo me voy a saltar cómo es la selección de cada una de estas zonas, podemos volver sobre eso después. Pero lo que les quiero mostrar es que si la densidad de activos en Valdivia era esto y movilidad era esta de acá, el índice BAC no dice "vaya al lugar donde llega más gente", porque el problema es que llega tanta gente que en un operativo durante un día voy a encontrar mucha gente no contagiada; lo que se necesita es un lugar donde llegue harta gente, pero que, además, la probabilidad de que esté contagiada sea alta y, por lo tanto el índice BAC decía mire acá hay dos zonas que también tienen alta movilidad –no la que más—, entonces vaya a poner su carrito de PCR en esta zona de acá (Figuras 37 y 38).

La visualización que hicimos con esto fue mediante mapas de calor que eran navegables y que se entregaba a cada SEREMI y Servicio de Salud, y permitía ver el cálculo del índice BAC cada semana, para decidir dónde poner los carritos. Entregaba un índice diferente día por día porque la movilidad es distinta. Por ejemplo, aparece una feria libre y es diferente al día en que no hay feria o los fines de semana son distintos de otro y por lo tanto se podían navegar, se podía filtrar; este mapa de calor estuvo disponible en servidores propios y fue agregado como capas en el visor Testeo Trazabilidad y Aislamiento del MINSAL (Figura 39).

Lo lanzamos como piloto en el Servicio de Salud Metropolitano Central donde funcionó bien, luego fuimos a Chillán donde seguimos y eventualmente lo lanzamos como estrategia nacional en noviembre de 2020, poniéndolo a disposición de todas las Seremis y todos los Servicios de Salud de Chile (Figura 40).

Ahora, los datos de movilidad generaban más posibilidades. De lo que nos dimos cuenta es que con estos poquitos

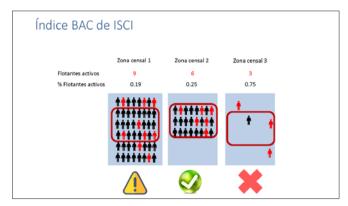


Figura 37

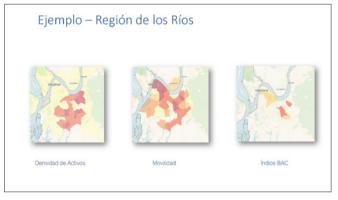


Figura 38



Figura 39

lugares que nosotros seleccionamos podíamos obtener una muestra bastante representativa de una ciudad, testeando en un número reducido de lugares. Es decir, si íbamos a esta zona de Chillán o a esta zona y tomábamos personas que se acercaban, esas personas representaban muy bien geográficamente a la ciudad y, además, no nos iba muy mal en la representación por edad o por sexo. Entonces, se nos

ocurrió la idea de hacer un estudio de Seroprevalencia, es decir, tratar de entender de qué manera ha avanzado el virus en la población, porque hay mucha gente que puede haber estado contagiada y no lo supo o no se acercó a un centro asistencial porque pensó que era un resfrío etc. Lo que queríamos saber, a noviembre 2020, es cuánto ha avanzado esto, porque si el virus ha avanzado mucho sabemos que nos queda un poquito menos, pero si el virus ha avanzado poco, entonces todavía quedan muchas personas susceptibles de ser contagiadas. Así, comenzamos un estudio de Seroprevalencia, con apoyo del Ministerio de Ciencia y de BHP que donó los test rápidos de anticuerpos que detectan infecciones pasadas, y generamos este sistema de vigilancia. La idea era muy sencilla, queríamos saber con un pinchazo de dedo si la persona había estado con el virus o no y una manera de hacerlo era detectar la presencia del anticuerpo anti Sars-Cov2, que aparece como defensa al virus (Figuras 41 y 42).



Figura 40



Figura 41



Figura 42

Comenzamos con un piloto para tratar de detectar cuál era la Seroprevalencia en la Región Metropolitana, es decir, cuánto de la población flotante de la Región Metropolitana que se movía al centro había estado infectada; lo lanzamos junto con el Ministerio de Ciencia, acá hay algunas fotos. Teníamos el carrito de PCR y al lado instalamos inmediatamente esta Estación de toma de muestra, donde se hacía además el test rápido, entonces lo que ocurría es que la gente venía, se hacía la PCR para saber si estaba infectada ahora, pero se hacía también el test rápido para saber si es que había estado en presencia o no de la infección. Algo que hicimos y que permitió avanzar muy rápido es que generamos un formulario de toma de muestra en línea y que nos permitió levantar información muy rápidamente; levantamos muchísima información que incluía información geográfica, dónde trabaja, dónde vive, cuán seguido sale, y otra información relevante de como habilidades y socioeconómica. Entonces, aquí pueden ver a una TENS pinchando el dedo, al mismo tiempo que se llenaba la información en el formulario en línea (Figura 43).



Figura 43

¿Qué es lo que logramos detectar? Que, para ese momento, a marzo del 2021, cerca de un 15% de la población ya tenía anticuerpos contra el COVID-19, que era bastante más de lo que se mostraba por casos sintomáticos, pero menos de lo que algunos pensábamos que iba a dar; con un 15% solamente, el virus tiene harto espacio para seguir avanzando (Figura 44).



Figura 44

Lo que ocurrió después es que comenzamos a vacunar y si se pinchaba el dedo, lo que pasaba es que uno no sabía si lo que estaba observando era la reacción ante la vacuna o lo que estaba observando era reacción ante el virus. Pero esto nos abrió la posibilidad de saber cómo cambia esta positividad IgG en el tiempo de las personas vacunadas. Es decir, si es que la persona está vacunada, observo o no una reacción de levantamiento del anticuerpo anti Sars-Cov2 que, como dije, es la primera línea de defensa contra el virus que debe generar una vacuna. Si el IgG se levanta fuertemente, muy bien, estamos contentos porque eso genera después una serie de otros mecanismos de defensa como son los anticuerpos neutralizantes o lo que se llama defensa de memoria celular. En Chile habíamos decidido además comenzar a vacunar con lo que estaba disponible, y por eso generamos contratos rápidos con Sinovac, porque las vacunas de MRNA no estaban disponibles para Chile en ese momento, iban a demorarse.

Por lo tanto, había una pregunta central ¿hay diferencia entre las vacunas o no? Bueno lo que hicimos entonces fue generar este Sistema de Vigilancia Nacional de la dinámica del IgG para poder entender qué pasaba con el IgG en el tiempo y qué diferencias se generaban entre vacunas. Generamos estas estaciones de testeo del IgG en todo en todo Chile, las localizamos dinámicamente de acuerdo con la información de movilidad, para generar una mejor representación geográfica, mediante métodos de programación entera; teníamos este equipo de 2 personas, mientras que la logística estuvo a cargo de la Subsecretaría de Redes Asistenciales con 29 Estaciones a lo largo de todo Chile (Figura 45).

Seropositividad dinámica IgG - Estudio Nacional

- ¿Como cambia la positividad IgG en el tiempo para personas vacunadas? ¿hay diferencias entre vacunas?
- Estaciones dedicadas de testeo de anticuerpos IgG. Localizadas dinámicamente de acuerdo a información de movilidad, para cubrir de major manera la población (métodos de Programación Entera)
- Testing team: 2 personas. Una para el 'pinchazo', otra para ingresar la información en el formulario web
- · 29 estaciones a lo largo de Chile. Logística a cargo de SSRA
- Se tuvo que entrenar a muchas personas en el uso de los mapas de localización y la plataforma web

Figura 45

Entrenamos a muchas personas con el uso de mapas y la plataforma web, teníamos acá a estudiantes de la Universidad de Chile que tenían estos tutoriales y contestaban llamadas telefónicas permanentemente de todas partes; generamos un Programa Nacional y estuvimos en todas partes con estas Estaciones pinchando deditos para tratar de saber cómo nos estaba yendo (Figuras 46 y 47).



Figura 46



Figura 47

La representación geográfica que generamos fue muy buena, y los resultados fueron pivotes para la decisión de la tercera dosis; esta foto es de cuando lanzamos el paper que presentaba estos resultados en septiembre del año pasado, y que fue publicado en The Lancet Infectious Diseases, pero los resultados le fueron entregadas a las autoridades desde junio del 2021 y fueron pivotes para las decisiones de tercera dosis (Figuras 48 y 49).

¿Qué es lo que observamos? Lo que hay acá son las semanas que transcurren desde los pinchazos, desde la vacunación, entonces para Sinovac lo que vemos es qué inicialmente a la primera semana del pinchazo, la positividad de IgG de una persona una semana después del pinchazo no es distinta de la de las personas no vacunadas, pero la positividad de IgG comienza a aumentar a medida que transcurren las semanas, y a la semana cuatro de un 30%. Es decir, un 30% levantaba suficiente IgG para ser capturado por este test el 70% no. Luego viene el segundo pinchazo, entonces estamos en la semana uno del segundo pinchazo y la positividad aumenta a cerca del 50% pero luego, gran noticia, la positividad de IgG de las personas pinchadas con Sinovac dos semanas después de su segunda dosis salta al 80%. Esto es una gran noticia porque quiere decir la vacuna funciona y está haciendo lo que tiene que hacer, pues muy bien por la vacuna Sinovac, porque esta nos protege.

Lo que ocurre después es que hay un declive de la positividad de IgG y que comienza a ocurrir en el tiempo y comienza a bajar a aproximadamente estas cifras 50% a los 5 o 6 meses después de la primera dosis y este declive de IgG genera la preocupación de que, tal vez, tenemos que poner una tercera dosis, esto era particularmente relevante para las personas con Sinovac de más de 65 años (Figura 50).

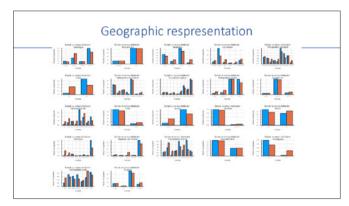


Figura 48



Figura 49

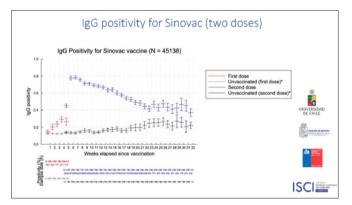


Figura 50

¿Qué es lo que observamos con Pfizer?, que la primera dosis a la cuarta semana había generado ya una positividad del 80% con solo la primera dosis y la segunda dosis a la segunda semana generaban positividades que se mantenían en el tiempo de una manera brutal, esta es una vacuna atómica, de verdad es otra tecnología (Figura 51).

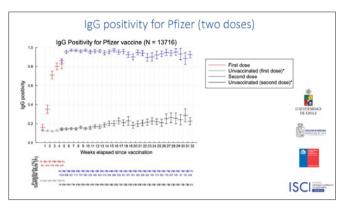


Figura 51

Entonces qué es lo que aprendimos, que vacunamos con Sinovac a tiempo. Si uno mira en retrospectiva las vacunas Sinovac lograron detener una mortalidad terrible que estaba causando la variante gamma y que causó una mortalidad en Perú y en otros países Latinoamérica tremendos, pero había que poner terceras dosis (Figura 52).

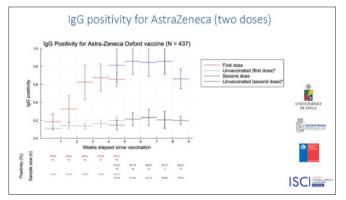


Figura 52

Y las comenzamos a poner muy rápidamente, Chile fue rápidamente el líder en poner tercera dosis. Lo que resultó ser muy importante es que seguimos pinchando dedos y pudimos ver que, cuando se pone una tercera dosis por encima de dos dosis de Sinovac, sea de Pfizer o de Astrazeneca, incluso ya a la segunda semana desde la tercera dosis, las positividades de IgG saltan a más de 90% todo el tiempo. Es decir, las terceras dosis sobre Sinovac permiten efectivamente una reacción de la primera línea de defensa que es tremenda y que es mayor a aquella que se observaba con las dos dosis a las dos semanas, es decir las terceras dosis fueron fundamentales y nos prepararon sin ninguna duda para las olas que siguieron (Figuras 53 y 54).

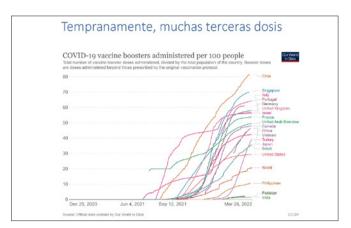


Figura 53



Figura 54

Junto al Ministerio de Educación fuimos también a hacer el análisis IgG en niños, porque Chile de nuevo era líder en una estrategia de vacunación, y los datos no nos iban a llegar de alguna otra parte del mundo teníamos; que levantarlos nosotros. Y descubrimos que la respuesta inmune de los niños con las vacunas anti COVID superaba el 90%, tenían mayor respuesta que los adultos lo que es una muy buena noticia respecto de volver a mandar a nuestros niños al colegio; estaban protegidos (Figura 55).

En nuestro sitio web pueden ver todas nuestras iniciativas, respecto de las que hablé y las que no y todas las noticias de prensa que han salido. Pueden acudir al sitio CovidAnalytics y visitar los visores de movilidad, las estrategias de testeo, las de Seroprevalencia y una que no mencione ahora que tiene que ver con qué es lo que ha pasado con el consumo eléctrico, algo que hemos hecho en conjunto con ENEL, una serie de visualizadores respecto de consumo doméstico e industrial (Figura 56).



Figura 55



Figura 56

Conclusiones breves. Hicimos y seguimos haciendo ingeniería innovadora en terreno que fue el foco desde marzo, colaborar no solo desde el paper. El trabajo fue profundamente interdisciplinario y con una colaboración entre Academia, Sector público y Sector Privado, que yo considero que es bien única. Hubo muchos desafíos, había que conversar con un sector público que estaba contra las cuerdas, estaban realmente con el agua hasta el cuello sin tiempo, estresados y cansados; hubo urgencia en el tiempo de desarrollo, no había tiempo para generar la solución, había que generarlas ya; había comunicación delicada, tanto como con el público como con las cosas que se hablaban, como entre personas de muy diferentes profesiones, había que generar esa confianza; participaron cientos de trabajadores de la salud, si están escuchando solo hay agradecimientos para ellos, porque se la jugaron por ideas desde la ingeniería que podrían no parecer obvias, pero que generaron información relevante.

Hay docenas de ingenieros, hay científicos que vo quisiera mencionar en ISCI, Dennis Sauré Marcel Goic, Marcelo Olivares, Charles Thraves y Gabriel Weintraub, que pusieron muchísimas horas a costo familiar, profesionales en los Ministerios, del Departamento de Emergencia y Desastres, en particular del Ministerio de Salud en ambas Subsecretarías, Marcela Zúñiga que levantó solita todo el estudio de Seroprevalencia y en ENTEL al menos 20 personas con las que construimos los índices de movimiento, lideradas por Julio Covarrubias. Las iniciativas aportaron a las decisiones de Salud Pública y entregaron herramientas concretas para ayudar a contener la pandemia. Y no voy a extenderme más, pero hay varias aplicaciones futuras, esto no termina acá y si va a levantar una línea de ingeniería y Salud Pública porque queremos seguir con esto que hemos levantado (Figura 57).

Conclusiones breves

- Hicimos, y seguimos hacienda ingeniería innovadora en terreno, que fue nuestro foco desde marzo 2020: colaborar no solo desde 'el paper'
- Trabajo profundamente interdisciplinario, y una muestra de colaboración entre academia, sector público y sector privado
- Muchos desafíos: conversar con un sector público contra las cuerdas, urgencias en los tiempos de desarrollo, comunicación delicada
- Participaron cientos de trabajadores de la salud, docenas de ingenieros, científicos y profesionales de los ministerios y Entel, decenas de estudiantes de pre y posgrado
- Nuestras iniciativas han aportado a las decisiones de salud pública y han entregado herramientas concretas para ayudar a contener la pandemia
- Lo desarrollado tiene variadas aplicaciones futuras

Figura 57

El lunes, como le decía, vamos a la final de esta competencia y hay un video documental de 40 minutos que hubiera reemplazado toda mi presentación, pero que no es público todavía, lo vamos a poner a disposición el próximo martes ganemos o no (Figura 58).

Quiero cerrar con un impacto. Hicimos estimaciones conservadoras del impacto de las cuatro iniciativas en conjunto y nosotros calculamos que aquello que fue llevado adelante generó ahorros por al menos 207 millones de dólares; redujo las infecciones en al menos 65.000 y evitó, no menos de 2.800 muertes en total y quiero cerrar agradeciéndole a todas las personas que trabajaron en esto porque el impacto es concreto y con rostro humano (Figuras 59 y 60).

Muchas gracias.

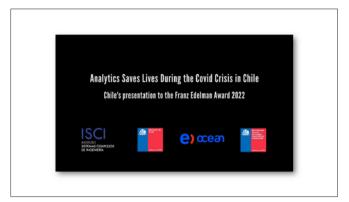


Figura 58

Impacto

Estimaciones conservadoras del impacto de las cuatro iniciativas en conjunto

- · USD 207 millones ahorrados
- · 65.000 infecciones menos
- · 2.800 muertes evitadas

Figura 59



Figura 60

Al término de su Conferencia, el Sr. Leonardo Basso respondió consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Carlos Gómez.

—Me gustaría saber si existe o se ha pensado en un cruce entre fallecidos por la pandemia y trabajadores con enfermedades profesionales con compromiso de parte respiratoria, por ejemplo, neumoconiosis por tipo de agente entre otros.

Sr. Leonardo Basso.

—Yo no sé si existe ese cruce, nosotros no lo hemos hecho, yo imagino que hay bastante análisis que vamos a tener que hacer ex post, el conteo de fallecidos, aparte de ser algo realmente triste y complejo, es algo que no está terminado de estar claro. Por eso todo este cálculo de exceso de muertes funciona más bien mediante estadística: "esto es lo que esperábamos, esto es lo que sucedió", es una manera de avanzar en eso, yo creo que es algo que se va a hacer. Imagino ahí que epidemiología, cuando la pandemia nos entregue un poco de aire vamos a poder hacer esos análisis porque, además, esto no termina con fallecidos, el drama del COVID prolongado es que afecta a un porcentaje enorme de la población por 6, 9,12 meses, hasta un año y medio y, por lo tanto, hay cruces y cosas que tenemos que ver. De a poco comenzamos a tener información respecto a si las vacunas protegen o no contra el COVID prolongado. Es decir, estoy vacunado y no voy a ser hospitalizado y tengo COVID, ¿pero estoy protegido también contra COVID prolongado o no?

Son cuestiones que vamos realmente aprendiendo de a poco y esto es algo relevante, la forma de mirar los datos los datos que íbamos necesitando a lo largo de la Pandemia además de todas las cosas que los científicos fuimos aprendiendo también. Igual como los equipos de salud fueron aprendiendo a manejar clínicamente un cuadro agudo, nosotros fuimos aprendiendo a saber qué datos se necesitaban, desagregados y cómo.

Sra. Silvana Cominetti.

—¿Qué se vislumbra hacia adelante con todo lo que han aprendido, tanto desde la teoría como del análisis de datos, la inteligencia artificial, pero también en las relaciones como tú bien dices que las tuvieron con el sector público y privado, hacia dónde pueden ir apuntando con el saber que han logrado y la experiencia que han obtenido?

Sr. Leonardo Basso.

—Eso es fundamental, Silvana, realmente sería un desperdicio desarmar todo lo construido y volver a nuestras ingenierías usuales solamente. Forma parte de la tarea de este año proyectar los aprendizajes a lo que viene y tenemos varias ideas, de las que solo voy a dar un ejemplo. La

información de movilidad es útil para muchísimas cosas que vienen, nosotros ya firmamos un segundo convenio de colaboración con Entel para aplicaciones que no tengan que ver con pandemia. Hay muchísima información respecto de los locales de votación o de localización, por ejemplo, de estaciones de testeo para otras enfermedades. Una de las cosas que aprendimos es que podemos hacer un muestreo grande testeando en el espacio público, si lo hacemos de manera inteligente. Entonces por qué no testear para HIV por ejemplo, que es un problema que nos han planteado. La idea de predecir el uso UCI, nosotros sabemos que en Chile en todas las campañas de invierno nuestro sistema crítico de salud está al límite, sabemos además que eso se debe en particular a ciertos virus específicos que comenzamos a saber cómo circulan, ¿seremos tal vez capaces de usar esa información y usar esos datos y poder ayudar a redes asistenciales a advertirles que la mano viene dura?, esto es algo que debiese ser útil para todas las campañas de invierno de aquí en adelante. Entonces, en lo que estamos absolutamente enfocados es en levantar una línea nueva de investigación de impacto en el Instituto, que sea ingeniería y salud y que vaya en esta línea y no es solo en la línea que nos es más común, que trata acerca de qué manera podemos ordenar agendas, disminuir colas, etc. De qué manera pasamos ahora a esta ingeniería y salud pública que fue realmente un descubrimiento, tanto para nosotros como para los para los médicos y los epidemiólogos y eso lo vamos a construir como propuesta, tenemos varias ideas que estamos conversando tanto con autoridades actuales como con las pasadas.

Sra. Silvana Cominetti.

—Todo esto se podría ir aplicando en gestión y prevención de desastres, para el ámbito de los delitos, la delincuencia y muchísimos otros temas. ¿Tienen ánimo como para direccionar hacia esos rumbos diferentes o por ahora solamente la salud?

Sr. Leonardo Basso.

Hay varias de esas áreas en que ya estamos trabajando. Creo que fue ayer o anteayer que hubo un seminario grande respecto de predicción y prevención de delitos, en el que hay una línea de investigación-impacto que llevan adelante Carla Vairetti y Richard Weber, ambos investigadores del Instituto, y lo que aparece como como posibilidad son los datos de movilidad que por cierto se pueden utilizar y respecto de emergencia y desastre, nosotros trabajamos muy cercanamente con el departamento de emergencia y desastre del Minsal que lidera Paola Pontoni con Felipe Zúñiga con Manuel Fuenzalida y ellos nos lo dijeron, que tenemos otras cosas que conversar, entonces estamos contentos muy contentos de estar muy ocupados en lo que se viene.

Sra. Silvana Cominetti.

—Ha sido muy interesante, hemos aprendido muchísimo y queremos expresar una felicitación especial hacia ti y a todo el equipo, a todos los que trabajaron y mencionar que aquí se da un caso muy particular de una reacción ágil y con mucha flexibilidad de parte de la Academia. Entonces también hay una innovación muy grande haber podido trabajar de esta manera y haber podido aportar al país, para limitar los daños que hemos sufrido en estos dos años de pandemia. Esperamos que realmente el 4 de abril sea una fecha en que se reconozca con el Premio Hedelmann el logro del trabajo realizado. Muchísimas gracias, Leonardo por habernos ha dado a conocer todo este trabajo.

Sr. Leonardo Basso.

—Yo quería decir que nos tomamos tan en serio esto, que por primera vez en el Instituto tenemos como investigadores a Infectólogos: Miguel O'Ryan y Juan Pablo Torres, se sumaron a trabajar con nosotros y ellos son ahora coautores en artículos de ingeniería y nosotros somos coautores en el Artículo de Infectología, yo me digo a mi mismo que soy Infectólogo de Ejecución. Esto es algo que queremos empujar de verdad fuertemente, porque ha resultado muy bien. Hoy vi en la mañana al ex Ministro de Ciencia quien me dijo que todo esto se hizo en un país pequeñito, perdido allá en el fondo del mapa y eso es muy relevante. Quiero agradecer primero que nada a todas las personas que han trabajado en toda esta iniciativa quiero agradecer al Instituto de Ingenieros por dejarnos presentar esto y por supuesto muy feliz de volver en cualquier otra ocasión.

Muchas gracias.

Fin de la Conferencia.

"ENERGÍA SOLAR EN CHILE: OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS"

Conferencia de la Sra. Claudia Rahmann, Directora del Centro de Energía Solar de Chile, SERC.



Sra. Claudia Rahmann.

El día jueves 28 de abril de 2022, a las 11:00 horas - vía zoom, ante una gran concurrencia del ámbito académico, público y privado, se realizó la conferencia de la Sra. Claudia Rahmann, Directora del Centro de Energía Solar de Chile – SERC, quién expuso el tema "Energía Solar en Chile: Oportunidades y Desafíos".

La Sra. Rahamnn es Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Chile, 2005. Doctor en Ingeniería de la Universidad RWTH Aachen en Alemania, 2010.

Desde el año 2012 es profesora del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y Directora del Centro de Energía Solar de Chile, SERC. Desde hace años ha participado activamente en diferentes actividades de la IEEE siendo Editora de las Revistas Científicas IEEE Transactions on Sustainable Energy e IEEE Transactions on Smart Grids. Además, fue secretaria del Task Force creado por el Power System Dynamic Performance Committee de la IEEE para redefinir la estabilidad en Sistemas de Potencia con Altos Niveles de Energías Renovables y chair del Working Group on Power System Dynamic Modeling del Power System Stability Subcommittee de la IEEE.

Su dedicación son los temas relacionados con la estabilidad y control de sistemas de potencia con altos niveles de energías renovables incluyendo el modelamiento dinámico de sistemas eléctricos, control y estabilidad de sistemas eléctricos, generación en base a tecnologías renovables como la solar y eólica, equipos de almacenamiento, integración de nuevas tecnologías en los sistemas de potencia y métodos de optimización aplicados en sistemas de potencia.

Sra. Claudia Rahmann.

—Agradezco al Instituto de Ingenieros de Chile por la invitación. La presentación de hoy es acerca de la energía solar en Chile, así como las oportunidades y desafíos que vemos los investigadores SERC en el tema.

La agenda la tengo distribuida de esta forma: primero haré una breve introducción, luego mostraré el estado actual de la energía solar que tenemos en nuestro país, las oportunidades y desafíos desde la perspectiva técnica, para finalmente cerrar la presentación con las conclusiones.

Creo que la principal motivación que nosotros tenemos a nivel nacional para hablar de la energía solar es el potencial que tenemos en el norte grande de nuestro país (Figura 1).

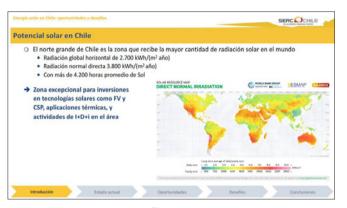


Figura 1

La zona del norte grande de Chile es una de las que reciben mayor cantidad de radiación solar en el mundo. Tenemos una radiación global horizontal de 2.700 kW hora por metro cuadrado al año. Además, tenemos otro gran valor en el norte de Chile, de las 8.760 horas que tiene un año hay más de 4.200 horas, en promedio, que tienen sol. Es decir, estamos hablando de algo así como un poco menos de la mitad de las horas del año con sol en toda la zona del norte grande. Entonces, claramente tenemos una zona excepcional para las inversiones en tecnologías solares, como la fotovoltaica, la concentración solar con aplicaciones térmicas y otras actividades que contaré más adelante.

De hecho, un estudio que realizó la GIZ alemana junto con el Ministerio de Energía el 2014, que es uno de los estudios más completos en términos de potencial que se ha hecho a nivel nacional, indica que Chile tiene un potencial de 1.800 GW de energía solar, esto representa algo así como 60 veces la capacidad instalada que tenemos hoy en día en el país (Figura 2).

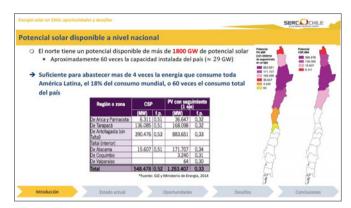


Figura 2

Para tener una idea, digamos que con este potencial que tenemos en Chile podríamos abastecer más de cuatro veces la energía que se consume en toda América Latina; el 18% del consumo mundial o aproximadamente 60 veces el consumo que tenemos a nivel nacional. Es importante destacar que este potencial de 1.800 gigas es el potencial realmente disponible, es decir, este potencial está limitado, por ejemplo, en base a zonas protegidas, zonas agrícolas o por las comunidades existentes. Es decir, estos 1.800 G son realmente lo que podríamos aprovechar.

De hecho, me atrevería a decir que Chile es bastante famoso por el tema del potencial solar. Hay un informe que se realiza anualmente por una consultora, que habla del índice de atractivo país para energías renovables y sistemáticamente en los últimos años Chile se ha ubicado entre los primeros 15 puestos. El 2021 se ubicó a Chile en el puesto 12, entiendo que en el último estudio descendimos un puesto, pero seguimos estando dentro de los países más atractivos en el mundo para invertir en energías renovables, lo que viene principalmente dado por el potencial solar.

Entonces la pregunta es cómo estamos hoy en términos de este gran potencial que tenemos en la zona norte (Figura 3).

La verdad es que hemos avanzado súper bien, el desarrollo que ha tenido la energía solar en Chile es impresionante. Aquí tenemos una imagen de un informe de ACERA, se ve que el 2013, teníamos muy poco de energía solar

fotovoltaica y hoy tenemos casi 5 GW, según la Comisión Nacional de Energía y, aparte, tenemos 3.400 megas en proyectos que están en construcción.



Figura 3

Aquí tenemos un resumen del último Informe de la Comisión Nacional de Energía (Figura 4).



Figura 4

En Chile tenemos casi 10 GW de energías renovables no convencionales, lo que representa un 34% de toda la generación que tenemos en el Sistema Eléctrico Nacional y de esos 9.718 megawatts, el 52% corresponde a energía solar. Entonces, efectivamente el potencial que tenemos a nivel nacional se condice con la forma en que la energía solar ha evolucionado en nuestro país.

En Chile no solamente tenemos una gran cantidad de generación solar disponible, también tenemos algunos proyectos emblemáticos que me gustaría mencionar rápidamente, no me voy a detener mucho (Figura 5).



Figura 5

En Chile también tenemos desarrollos en I + D. Hay un proyecto que está ubicado a 80 km al sureste de Antofagasta, que se llama ATAMOSTEC, que es un consorcio tecnológico que reúne a distintos actores de la industria, Centros de Investigación nacionales e internacionales y a universidades; esta es una iniciativa del Centro de Energía Solar de Chile. Lo que busca este consorcio es básicamente desarrollar nuevas tecnologías para la generación fotovoltaica que estén especialmente diseñadas para las condiciones particulares que tenemos en el desierto de Atacama, que es una zona desértica y con alta radiación. Este proyecto está financieramente apoyado por Corfo y ya ha tenido resultados bastante interesantes. Creo que este tipo de proyectos son importantes porque desarrollan tecnología local en Chile, que generalmente es lo que nos ha costado a nivel país.

Tenemos otros proyectos como el AYLLU Solar (Figura 6).



Figura 6

Es un proyecto grande que está en la región de Arica y Parinacota, que busca contribuir a las pequeñas comunidades de la región, potenciando la creación de capital humano que sea capaz de impulsar el desarrollo sostenible de estas comunidades de la región de Arica-Parinacota.

Algunos de los proyectos que hay (Figura 7).



Figura 7

Por ejemplo, el proyecto La Estrella, que está ubicado en esta zona en la región. El proyecto busca desarrollar en Putre, distintas aplicaciones agropecuarias sustentablemente en base a energía solar. En Camarones también hay un proyecto que fomenta el cultivo de camarón de río y trucha, mediante el recurso de energía solar. Tenemos otros proyectos como Pampa Concordia, La Caleta. Lo bonito de Ayllu es que las comunidades fueron completamente incorporadas en los desarrollos solares que se instalaron donde ellos trabajan, así que fue un buen resultado el que se obtuvo ahí.

En términos de oportunidades, observamos que, en términos de generación de energía solar, estos 5.000 megawatts que tenemos en Chile es un porcentaje bastante importante de la capacidad total nacional y muestra que hemos sido capaces de avanzar y aprovechar el potencial que tenemos para generar energía eléctrica mediante la energía solar. Ahora, si bien hemos mostrado este desarrollo importante, los beneficios del potencial solar han estado principalmente concentrados en la línea de la generación de energía que básicamente implica reducir los precios de la electricidad (Figura 8).

Ahora bien, lamentablemente, no se han generado otras externalidades positivas, más allá de la generación de

energía. Por ejemplo, a nivel nacional hemos visto poco el desarrollo de soluciones I + D para diferentes sectores productivos, que nos permitiesen aprovechar la energía solar más allá de la solar fotovoltaica. Por ejemplo, combustibles solares, puede ser Hidrógeno Verde que está tan de moda, generación térmica, tampoco hemos visto una gran participación de la energía solar en minería u otros sectores productivos; también se sigue observando participación de empresas y capital humano que son externas. Es decir, no tenemos mucha participación a nivel nacional, si bien está mejorando, muchas veces en cuanto a suministro de bienes y servicios, construcción, desarrollo e incluso operación y mantenimiento, no se ocupa el capital humano local que tenemos. Vale decir, tenemos un poco la visión de que hay un bajo nivel de captura de valor, nos falta poder capturar un poco más el potencial solar en términos no simplemente de generar energía, sino de lograr que también tenga un impacto positivo en lo que se refiere al desarrollo de una industria local nacional.



Figura 8

Sería muy bueno que pudiésemos, más allá de generar simplemente energía solar mediante paneles fotovoltaicos, contribuir a que Chile transite de una economía basada fuertemente en la explotación de recursos naturales a una que, incluya la generación y transferencia de conocimiento de manera sustentable (Figura 9).

En la Figura 10 se muestran las oportunidades que tenemos a partir del potencial solar y las que hemos aprovechado.

Aquí tenemos el efecto fotovoltaico y cómo lo hemos aprovechado, abasteciendo de energía a la población, pero es verdad que con el potencial increíble que tenemos en el norte de nuestro país, podríamos generar combustibles

sintéticos, podríamos realizar distintos procesos para el tratamiento solar de agua, podríamos generar agua caliente y podríamos utilizar la energía solar en muchas otras áreas que no estamos aprovechando actualmente.



Figura 9

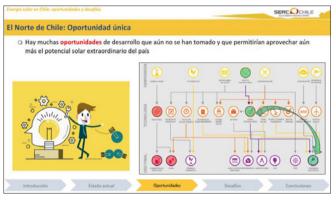


Figura 10

Por ejemplo, una de las oportunidades que tenemos es en los combustibles sintéticos, el hidrógeno verde, también la generación de tecnología a nivel local, hoy en día, los 5.000 megawatts que nosotros tenemos instalados en Chile en paneles fotovoltaicos, son todos importados, no son paneles construidos en nuestro país (Figura 11).

A eso es a lo que apunta el proyecto ATAMOSTEC que les comentaba hace un rato. Con todo el potencial que tenemos, también podríamos aspirar a exportar energía solar al resto de América Latina. La generación para almacenamiento mediante energía térmica también es una oportunidad que no hemos desarrollado suficiente y el tratamiento de agua mediante energía solar; el agua sabemos que es clave y cada vez estamos teniendo más

problemas de agua no solamente a nivel de la zona centro norte de Chile, sino que, a nivel mundial, o sea, nosotros tenemos varias oportunidades que podríamos aprovechar.



Figura 11

La minería, por ejemplo, es algo que me gustaría entrar un poco más en detalle porque creo que es importante debido a que, como país, reunimos condiciones bastante particulares ¿en qué sentido? (Figura 12).



Figura 12

Nuestro desierto de Atacama concentra una de las reservas de cobre más grandes del mundo, pero también presenta uno de los principales desafíos que es la escasez de agua. Además, esta zona tiene precios de energía no menores y esas dos condiciones amenazan la competitividad de la industria minera nacional. En este sentido, tenemos espacios importantes para la innovación y para desarrollos tecnológicos que nos podrían permitir tener una industria minera mucho más eficiente, con menor impacto ambiental que incluso podría llevar a nuestro país, por

ejemplo, a producir un cobre con sello verde. El recurso solar que tenemos en la zona norte, que es donde tenemos estas reservas de cobre importantes, efectivamente tiene un potencial gigante que yo creo que todavía no se está aprovechando al máximo.

Después está el tema de los combustibles sintéticos. Me gustaría destacar que Chile también es, entre comillas, famoso alrededor del mundo por este tema. De hecho, la Agencia Internacional de Energía declaró a Chile como uno de los países con mayor potencial para producir hidrógeno verde en el mundo y eso, nuevamente, por las condiciones excepcionales que tenemos en el norte de nuestro país en términos de energía solar. Este combustible verde, este hidrógeno verde, podría cubrir distintas necesidades en nuestros hogares o industrias; o incluso si fuésemos ambiciosos podríamos aspirar a almacenarlo y trasladarlo en barcos y exportarlo a otros países.

Por último, con este potencial solar que tenemos en el norte, también podríamos ser atractivos como país para industrias internacionales que son intensivas en el uso de energía, para que se instalen en el norte y realicen sus procesos usando energía solar como motor (Figura 13).



Figura 13

Efectivamente, hoy en día con toda la tendencia a nivel mundial que existe para proteger nuestro planeta por el cambio climático, estos temas son cada vez más relevantes y hay empresas que podrían instalarse en esta zona de Chile disminuyendo sus costos de producción de manera sustentable con el medio ambiente, podrían incluso vender sus productos con una especie de sello verde, esa también es una oportunidad que nosotros tenemos.

Luego están las interconexiones regionales; esta es la última oportunidad que me gustaría destacar. Las energías renovables en Chile y en los diferentes países sudamericanos tienen un potencial gigantesco (Figura 14).



Figura 14

En la Figura 15 de la izquierda muestro el potencial estimado que existe en los distintos países de la región. Lo que me gusta y lo que quiero destacar de acá es básicamente que casi todos los países en América Latina tienen un potencial increíble del orden de los gigawatts, tanto de energía solar como eólica y cuando vemos la capacidad instalada, y la comparamos con el potencial, lo que uno observa es que la capacidad instalada que hay a nivel regional es poco, cuando se ve el potencial bruto que tiene cada uno de los países de la región.



Figura 15

Ahora, si nosotros quisiéramos explotar mucho más el potencial renovable de la región, jamás lo lograríamos hacer si los Sistemas Eléctricos de cada país operan de

manera aislada, porque cada uno de los países en la región efectivamente son, para efectos prácticos, pequeños, salvo un par de excepciones como Brasil y Argentina, pero en realidad los países pequeños o los Sistemas Eléctricos pequeños, difícilmente pueden aprovechar al máximo su potencial renovable, porque comienzan a surgir problemas técnicos difíciles de manejar asociados, por ejemplo, a cómo enfrentar la variabilidad e incertidumbre de las renovables y los desafíos en términos de operación, control y seguridad de los sistemas. Ahora, si tuviésemos un Sistema sudamericano interconectado, hay varios problemas que disminuyen en complejidad o incluso que se pueden mitigar completamente. Por ejemplo, la variabilidad, que generalmente es el mayor dolor de cabeza cuando uno habla de energías renovables, se podría mitigar aprovechando la complementariedad energética que tenemos en la región. Por ejemplo, hay varios estudios que indican que en Brasil hay emplazamientos que tienen un potencial eólico grande, particularmente en las noches. Dado que en el norte de Chile, Bolivia y Perú hay zonas con un potencial solar grande, podría haber una complementariedad importante en términos de renovables. Por ejemplo, Chile, Bolivia y Perú podrían producir energía solar durante el día, y ser "relevados" por energía eólica en Brasil durante las noches. A esto me refiero con complementariedad, pero este tipo de beneficios solo se pueden aprovechar cuando los países se encuentran interconectados y lo que es cierto es que hoy en día las interconexiones que existen a nivel sudamericano son bastante pocas cuando nos comparamos, por ejemplo, con los países europeos.

Entonces, a nivel regional, tenemos una oportunidad única de explotar, ya no solamente el recurso solar, sino que los recursos renovables y podríamos lograr un desarrollo energético totalmente sostenible en la región.

Solo para dar un dato interesante, un cálculo estimado indica que nosotros podríamos abastecer aproximadamente el 30% del consumo de América Latina si en Chile instaláramos 200.000 MW en paneles solares. Esto significa que necesitamos aproximadamente 6.000 km² de tierra para los paneles fotovoltaicos. Si bien suena harto, esto es menos del 1% de todo el territorio chileno, y algo así como un 5% del desierto de Atacama (Figura 16).

Si bien actualmente Chile tiene una interconexión menor con Argentina en el norte, esta no sería suficiente para aspirar a lograr cosas como ésta, de exportar energía.



Figura 16

Creo que hoy en día casi todos los países tienen metas para distintos años en el mediano plazo acerca de niveles de penetración de energías renovables (Figura 17).



Figura 17

Y, en general, la opinión de los expertos es que la madurez tecnológica que tenemos hoy para estas tecnologías, unida a sus bajos costos de inversión, es que es muy probable que las metas que existen a nivel mundial en términos de ERNC se cumplan sin ningún tipo de problema.

En el caso chileno en particular, no solo tenemos metas de penetración de energías renovables, además tenemos un gran potencial renovable a lo largo del país, un potencial solar gigantesco en el norte y potencial eólico en varias zonas en el centro-sur (Figura 18).

En particular, tenemos condiciones muy favorables para las energías renovables no convencionales con convertidor, ERNC-CC, como la energía solar fotovoltaica en la norte y la eólica en distintas zonas del país. Entonces si sumamos estos 3 puntos, es claro que el Sistema Eléctrico chileno en un futuro no muy lejano debería caracterizarse por tener este tipo de tecnologías renovables con convertidor con altos niveles. Así deberíamos imaginar el Sistema Eléctrico futuro.

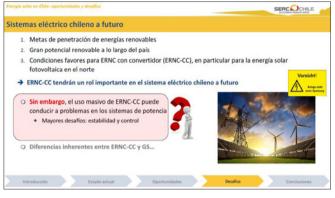


Figura 18

Ahora viene entonces la pregunta de qué implica este desafío masivo de energías renovables y, es cierto que este uso masivo de energías renovables con convertidores puede producir problemas serios en la operación de los sistemas eléctricos. Entre los principales desafíos se encuentran los temas de estabilidad y control relacionados con la seguridad de suministro.

En las siguientes láminas me gustaría primero aclarar por qué están estos desafíos de los que estamos hablando y para eso voy a hablar un poco de cosas técnicas y después voy a terminar aclarando los distintos problemas que vamos a tener que enfrentar como país y, en general, cualquier Sistema Eléctrico que pretenda alcanzar altos niveles de tecnologías renovables con convertidor.

Para que se pueda entender el contexto, me gustaría comentar el significado del término "robustez" en los Sistemas Eléctricos de potencia.

Robustez es un término que generalmente usamos los ingenieros eléctricos para poder caracterizar aproximadamente el desempeño de los sistemas eléctricos cuando están sometidos a diferentes condiciones de operación. Cuando aplicamos la palabra robustez a los Sistemas Eléctricos, esta es una indicación de cuán bien un Sistema puede enfrentar distintas perturbaciones, distintos cambios, manteniendo un comportamiento estable. En general,

los Sistemas Eléctricos robustos tienen un menor riesgo de inestabilidad cuando ocurre una falla; por ejemplo, un cortocircuito o la desconexión intempestiva de una máquina y en general son más fáciles de regular, en términos de la tensión y frecuencia en operación normal. Es decir, durante pequeñas perturbaciones, estas variables se pueden controlar sin mayores desafíos en los sistemas robustos. Los Sistemas robustos generalmente son Sistemas grandes, bien interconectados, enmallados y con una gran cantidad de generadores sincrónicos. Cuando hablamos de robustez, hay dos indicadores importantes: los niveles de cortocircuito y la inercia (Figura 19).

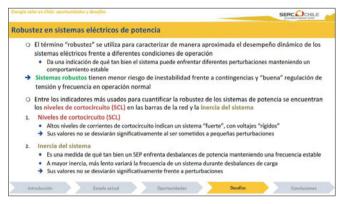


Figura 19

Creo que la inercia es algo que todo el mundo ha escuchado. Venimos hace años ya, incluso antes de la interconexión SIC-SING, escuchando de los problemas de inercia por las renovables. Antiguamente, en el SIC, cuando teníamos gran cantidad de generación eólica en la Cuarta Región se hablaba de problemas de inercia, este es uno de los dos indicadores que nos habla de la robustez de los Sistemas Eléctricos.

En cuanto a los niveles de cortocircuito, cuando un sistema eléctrico tiene altos niveles de corrientes de cortocircuito, hay que entenderlo como un Sistema fuerte, con voltajes que son, entre comillas, rígidos, quiero decir con eso que, si yo tengo una barra del sistema con un alto nivel de cortocircuito, implica que cuando yo perturbo levemente los flujos de potencia por esa barra, los valores de la tensión en esa barra se van a desviar poco porque el voltaje es fuerte, "rígido" porque el nivel de cortocircuito es alto (Figura 20).

El otro indicador, la inercia del Sistema, es una medida de qué tan bien un sistema enfrenta desbalances de carga manteniendo una frecuencia estable. En general, en la medida que un Sistema Eléctrico tenga mayor inercia, frente a un desbalance de carga, este va a tener una variación más lenta de la frecuencia, lo que implica que la frecuencia se desviará poco cuando se perturba. En general lo que nosotros queremos en los Sistemas Eléctricos es que la frecuencia se mantenga muy cercana a su valor nominal, es decir, nos gusta que la inercia del sistema sea alta porque eso implica que, si yo perturbo el Sistema, la frecuencia se va a desviar poco.

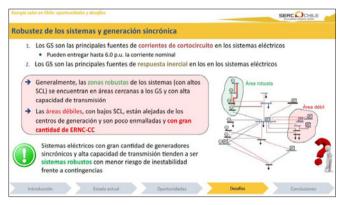


Figura 20

Se entiende entonces que lo que queremos son Sistemas Eléctricos Robustos. Por decirlo de una manera simple, en los sistemas robustos, la población no ve cortes de luz muy seguidos pues estos Sistemas pueden enfrentar bien las fallas. Por ende, estos Sistemas son capaces de enfrentar distintas perturbaciones sin pérdida de suministro.

Cuando un Sistema es robusto, en general hablamos de Sistemas Convencionales dominados por generadores sincrónicos. Estos generadores cumplen dos características claves. La primera es que se encuentran entre las principales fuentes de corrientes de cortocircuito en los sistemas eléctricos y, aparte, son las principales fuentes de inercia. ¿Qué implica eso? Que en un Sistema Eléctrico las zonas robustas, las zonas fuertes, con altos niveles de cortocircuito, con alta inercia, generalmente se encuentran cerca de las zonas de generación que, generalmente, cumplen con tener una alta capacidad de transmisión. Las áreas débiles, por otro lado, es decir, aquellas áreas que tienen bajos niveles de cortocircuito, en las cuales una pequeña perturbación en los flujos lleva a que los voltajes cambien mucho, esas áreas débiles generalmente

se encuentran lejos de los Centros de Generación y son áreas poco enmalladas.

Generalmente, las áreas débiles también tienen gran cantidad de energías renovables no convencionales con convertidores. Entonces la pregunta es ¿por qué las áreas débiles se relacionan con zonas con altos niveles de energías renovables con convertidor?

Aquí en este diagrama resumo las características clave de las renovables como la eólica y la solar, que tienen implicancia directa en los Sistemas Eléctricos. Ojo, que esta es una clasificación mía, puede haber otras.

El primer bloque, se asocia a la naturaleza estocástica de las renovables, incluimos aquí la variabilidad e incertidumbre, características de las energías solar y eólica que generalmente tiene un impacto importante en la operación normal de los sistemas eléctricos, en términos de la regulación de frecuencia para mantener el balance entre carga y generación, es lo que se ve fuertemente afectado por los temas de la variabilidad y por la incertidumbre.

La parte que quiero abordar con mayor detalle es la que está acá abajo, que son las características más técnicas de las renovables que afectan la operación normal y durante contingencias y que son los desafíos que voy a explicar ahora (Figura 21).

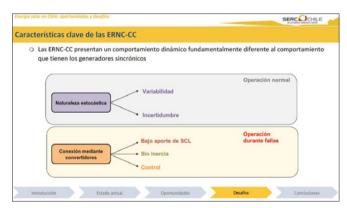


Figura 21

Estas características de las ERNC que hacen que los sistemas se debiliten, las dividí en 3 puntos clave. Primero, son los bajos aportes de corrientes de cortocircuito y la falta de inercia, el último punto está asociado a temas de control.

La primera característica de las renovables, importante para efectos de por qué los Sistemas se debilitan producto de su integración masiva, es el bajo aporte de corrientes de cortocircuito. La principal característica de las renovables es que tienen limitaciones en términos de inyección de corriente debido a límites térmicos de los convertidores de potencia (Figura 22).

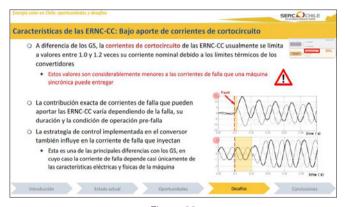


Figura 22

¿Qué implica eso en términos prácticos?, que los aportes de corrientes de cortocircuito que las unidades eólicas y fotovoltaicas pueden aportar a los Sistemas Eléctricos durante fallas, son bastante menores que las corrientes de cortocircuito que los generadores sincrónicos aportan. De esta forma, si en una barra se tiene un generador sincrónico y se reemplaza por una unidad renovable con convertidor con la misma capacidad instalada, el nivel de cortocircuito en dicha barra baja, pues la unidad renovable no puede aportar la misma cantidad de corriente de cortocircuito que un generador sincrónico de igual capacidad. Entonces, ¿cuánto puede entregar una unidad renovable? Asumiendo que se tiene una estrategia de control ad hoc para inyectar corrientes de cortocircuito, el cuánto podrá aportar dependerá de varios factores. De hecho, esto es otra diferencia con los generadores sincrónicos, los cuales inyectan de manera natural estas corrientes. Las renovables, por otro lado, para poder inyectar corrientes de cortocircuito, deben tener un sistema de control diseñado especialmente para eso. Y dado que el aporte de estas unidades se realiza vía un controlador, el aporte va a depender de varios factores como el tipo de control implementado, de las condiciones de operación del sistema, del tipo de falla, etcétera. De esta forma, incluso si las renovables aportan con corrientes de cortocircuito o capacidad de fault ride through, su aporte es menor y diferente al aporte de las máquinas sincrónicas. Por ejemplo, acá en este gráfico, que es meramente ilustrativo, vemos la corriente de cortocircuito que inyecta una máquina sincrónica cuando ocurre una falla. Vemos que apenas ocurre la falla, la máquina responde casi instantáneamente aumentando su corriente. Fíjense que llega a un valor de hasta 15 en por unidad. En el caso de una unidad renovable con convertidor, para la misma falla, vemos un retardo en la respuesta y que entrega una corriente mucho menor.

De esta forma, incluso si las renovables entregan corrientes de cortocircuito durante fallas, el aporte no solo es menor que el de un generador sincrónico, sino que, además, este aporte está sujeto a las desventajas de que la corriente sea inyectada a través de un control.

La otra característica que habíamos mencionado es la inercia. Las renovables con convertidor como la solar fotovoltaica y la eólica, generalmente, no contribuyen a la respuesta inercial de los Sistemas Eléctricos durante desbalances de carga (Figura 23).

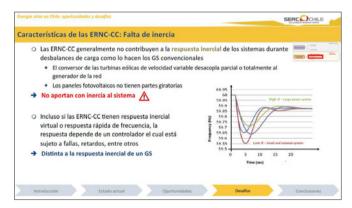


Figura 23

Los generadores eólicos, si bien tienen inercia, la forma con la que se conectan a los sistemas eléctricos mediante convertidor hace que esta respuesta natural se pierda, porque el conversor desacopla total o parcialmente las turbinas de la red. En cuanto a los paneles fotovoltaicos, dado que no tienen partes giratorias, no aportan con inercia.

A pesar de lo anterior, las unidades eólicas y fotovoltaicas pueden incorporar un lazo de control adicional para responder a desviaciones de frecuencia, una especie de emulación de respuesta inercial de los generadores sincrónicos. Pero, a pesar de eso, no podemos comparar la respuesta inercial natural de las máquinas sincrónicas versus una estrategia de respuesta inercial virtual o respuesta rápida de frecuencia que puede entregar un convertidor. En la Figura 23 tenemos los efectos de diferentes niveles de inercia en un Sistema. Vemos que, frente a un desbalance, la frecuencia se desvía menos en caso de mayor inercia.

Entonces, si se reemplazan generadores sincrónicos por energías renovables no convencionales con convertidor, estas dos características, baja contribución de corrientes de cortocircuito y sin respuesta inercial, necesariamente ocurre que los Sistemas Eléctricos comienzan a ser menos robustos. ¿Por qué?, porque recordemos que la robustez está fuertemente ligada a la cantidad de generadores sincrónicos que tiene el Sistema; los generadores sincrónicos son los que tienen los mayores aportes de corrientes de cortocircuito y los principales en aportes de respuesta inercial (Figura 24).

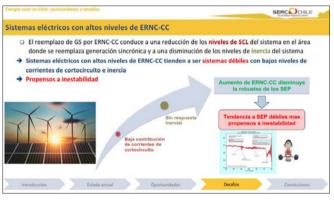


Figura 24

Por ende, si yo reemplazo máquinas convencionales por energías renovables que tienen bajos aportes de corriente de cortocircuito y sin respuesta inercial, entonces necesariamente los sistemas eléctricos tienden a ser más débiles, la robustez disminuye en las zonas donde los generadores sincrónicos se reemplazan. Vale decir, los Sistemas tienden a ser más débiles, menos robustos y eso implica que los Sistemas son más propensos a la inestabilidad.

Entonces la pregunta es: ¿Cuáles son esos desafíos en los Sistemas Eléctricos más débiles? (Figura 25).

Aquí dividí los desafíos en 3 grupos: Estabilidad sistémica, que es la estabilidad clásica que todos conocemos; estabilidad de ángulo, estabilidad de tensión, estabilidad

de frecuencia. Después, problemas de estabilidad de las unidades renovables en sí y después un tercer grupo asociado a los desafíos de control que también creo que es muy importante mencionar.

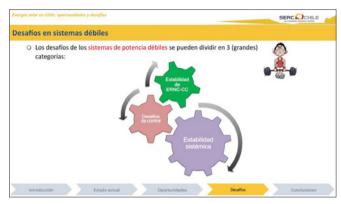


Figura 25

En cuanto a la estabilidad sistémica, ya habíamos dicho que los aportes de corriente de cortocircuito en las renovables son bastante menores que las de los generadores sincrónicos (Figura 26).

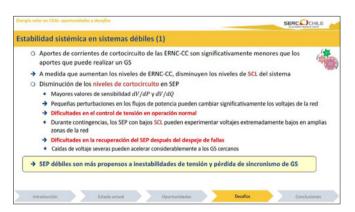


Figura 26

Entonces, a medida que aumentan las renovables con convertidor, necesariamente disminuyen los niveles de cortocircuito de los Sistemas Eléctricos, lo que implica que pequeñas perturbaciones que puedan surgir, por ejemplo, en los flujos de potencia, podrían llevar a cambios grandes en las tensiones de las barras en los niveles de cortocircuito son bajos. ¿Qué implica eso? Primero, dificultades para controlar la tensión en la operación normal y durante fallas. Las zonas con bajos niveles de cortocircuito pueden

experimentar voltajes extremadamente bajos, por lo que al Sistema Eléctrico le va a costar más recuperarse después del despeje de la falla y, eventualmente, estas caídas de tensión más pronunciadas también podrían llevar a la pérdida de sincronismo de generadores cercanos. Vale decir, en el fondo, la disminución de las corrientes de cortocircuito hace que los Sistemas sean más propensos a inestabilidad de tensión y pérdidas sincronismo de los generadores (Figura 27).

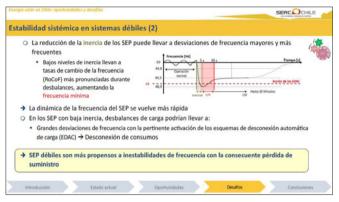


Figura 27

En cuanto a la reducción de inercia: si la inercia disminuye, la respuesta inicial de un Sistema Eléctrico frente a un desbalance de carga será tal que tendrá una frecuencia que cae con pendiente más pronunciada o sea la frecuencia cae más rápido. Por ende, la frecuencia mínima que alcanza el sistema aumenta, por lo que hay un mayor riesgo de que se activen los esquemas de desconexión automática de carga y se pierda suministro.

Acá tenemos algunos resultados de simulación obtenidos en base al Sistema Eléctrico Nacional. Hicimos varias simulaciones con distintos niveles de robustez, en un escenario a futuro del Sistema al 2030, acá se simula la misma falla en el mismo Sistema, pero en un caso el Sistema es más robusto que en el otro caso. La falla simulada es un cortocircuito (Figura 28).

En el caso del Sistema más robusto vemos que cae el voltaje y que cuando se despeja la falla, las tensiones se recuperan bien; vemos también que las diferencias angulares entre las máquinas más cercanas a la falla también están ok. En el caso de sistema más débil, es decir, con menores niveles de cortocircuito, lo que vemos es que, si bien la tensión se recupera, hay una pérdida de sincronismo de una de las unidades, que en el caso anterior no ocurría porque el Sistema era más robusto.



Figura 28

En cuanto a la frecuencia, acá tenemos la evolución de la frecuencia frente a dos fallas muy parecidas en el mismo Sistema, pero con distintos niveles de inercia. Se observa qué en el caso de un Sistema robusto, con más inercia, la frecuencia cae menos que en el caso del Sistema con baja inercia (Figura 29).

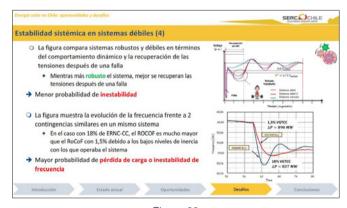


Figura 29

Entonces, la estabilidad de tensión, de ángulo, mantención de sincronismo en las máquinas, y estabilidad de frecuencia, empeora cuando los sistemas son menos robustos, y los sistemas son menos robustos en la medida que se incorporan más energías renovables no convencionales con convertidor, sin tomar medidas correctivas. Esto es importante, porque no quiero que quede la sensación de que estas desventajas impiden alcanzar, por ejemplo, las metas renovables que tenemos. Por ningún motivo; solo

se requieren acciones que permitan alcanzar esas metas de manera segura.

Ahora me gustaría comentar acerca de los desafíos de estabilidad de las energías renovables. Lo que me interesa aquí es que en el caso de las energías renovables con convertidor, como la eólica y fotovoltaica, su comportamiento dinámico y la interacción que tienen estas unidades con los sistemas eléctricos, dependen fuertemente de la estrategia de control usada y en menor medida de las propiedades físicas del conversor (Figura 30).

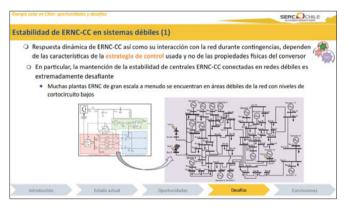


Figura 30

Esta es una diferencia importante con respecto a los generadores sincrónicos, en cuyo caso la respuesta dinámica inmediatamente después de una falla no depende de la estrategia de control; pues ocurre de manera natural por el acoplamiento de las máquinas con la red. En el caso de las renovables, los aportes que estas unidades podrían hacer a la estabilidad, están sujetos a un montón de factores asociados al sistema de control, como retardos, sincronización o coordinación entre controladores cercanos. De hecho, las unidades renovables con convertidor enfrentan varios desafíos debido F estas estrategias de control.

Las estrategias de control de las renovables comprenden varios lazos de control, como pueden ver en la Figura 31. La idea no es explicar esto. Lo que sí es importante que quede claro, es que los controladores de los convertidores son controladores rápidos, que responden en tiempos muy cortos cuando uno compara con los controladores de las máquinas sincrónicas. ¿Qué implica eso? Que los fenómenos asociados a estas unidades son fenómenos que, comillas, no conocemos en los sistemas convencionales. Cuando los sistemas convencionales están dominados por

generadores sincrónicos, las dinámicas y fenómenos que ocurren son, entre comillas, lentos, asociados a la ventana electromecánica de máquinas sincrónicas. Lentos implica algunos segundos, pero en el caso de los convertidores, hablamos de fenómenos en la ventana electromagnética o sea muy rápidos, que trae otros desafíos como, por ejemplo, inestabilidades de control.



Figura 31

No voy a entrar en detalle con esto, pero es importante entender que con las renovables pueden surgir inestabilidades que en sistemas convencionales dominados por generadores sincrónicos no conocíamos. Hay distintos estudios y experiencias prácticas en distintas partes que han mostrado que cuando estas unidades renovables con convertidor se conectan a redes débiles con bajos niveles de cortocircuito, pueden surgir comportamientos inestables.

Lo otro importante a considerar es que como las renovables tienen respuestas muy rápidas, a medida que se van aumentando sus niveles de penetración, el sistema eléctrico comienza también a presentar respuestas más rápidas (Figura 32).

¿Qué implica que un Sistema Eléctrico sea más rápido?, implica que es mucho más complejo de controlar, de coordinar, porque los tiempos son muy cortos, no hay tiempo para reaccionar.

Otro de los desafíos va a estar relacionado con la cantidad de agentes en el sistema. La integración de energía renovable en Chile se ha visto de manera masiva en alta tensión. Pero lo cierto es que en el mundo hay una tendencia a integrar renovables no solamente en alta tensión, sino también a conectar pequeños generadores distribuidos en las redes

de transmisión; y creo que eventualmente en Chile también va a ocurrir. Entonces, cuando pensamos en el Sistema a futuro, integrando todas estas nuevas tecnologías, tenemos que imaginarnos que van a haber miles o quizás incluso millones de convertidores en distintos niveles de tensión del Sistema de potencia (Figura 33).

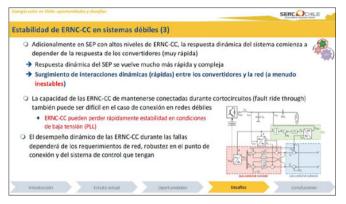


Figura 32



Figura 33

Hoy en día miles de estas unidades no podrían ser monitoreadas por el coordinador eléctrico nacional, porque no están las instalaciones en términos de la red de comunicación, lo que implica desafíos gigantescos en el control de los Sistemas Eléctricos y la coordinación de todas estas unidades renovables distribuidas en diferentes niveles de tensión.

En cuanto a las estrategias de control, todas las características que he mencionado de las diferencias entre las renovables y centrales convencionales también van a ser importantes a considerar. Los generadores síncronos, como les mencioné, son lentos, con respuestas en la ventana

electromecánica, las renovables con convertidor por otro lado, son rápidas, en la ventana electromagnética. Además, la respuesta de los generadores sincrónicos durante transitorios depende enormemente de los parámetros de la máquina mientras que en el caso de las renovables con convertidor lo que importa es la estrategia de control y, por supuesto, los parámetros asociados. Además, la respuesta inercial y los aportes de corrientes de cortocircuito de los generadores sincrónicos se entregan de manera natural al sistema eléctrico y en el caso de las renovables, esto ocurre por medio de un sistema de control. Estas diferencias son fundamentales en términos de estabilidad y llevarán a que la dinámica de los sistemas eléctricos a futuro sea completamente distinta a la que tenemos hoy, con desafíos distintos y con sistemas de control que no van a poder ser los que tenemos hoy. No van a funcionar.

Otro punto que me gustaría destacar, pues ya están surgiendo varias alarmas alrededor del mundo, se relaciona con la distribución espacial de la inercia (Figura 34).

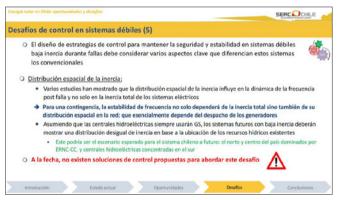


Figura 34

En general en el mundo, cuando hablamos de la inercia, hablamos de la inercia total, sin importar donde se localiza. Lo que se está observando es que, en la medida que se van aumentando las renovables, la distribución espacial de la inercia comienza a ser importante para la estabilidad de frecuencia y no solamente la inercia total. Por ejemplo, en el caso chileno, de aquí a algunos años es muy probable que tengamos la zona norte y centro de nuestro país dominadas por energías renovables con convertidor. Por otro lado, las Centrales Hidráulicas las vamos a seguir teniendo en el sur, pues difícilmente esas unidades van a salir de operación. Entonces, el Sistema Nacional podría tener una alta concentración de inercia en el sur, un poco

en la zona centro y aguas arriba, en el norte, podríamos llegar a niveles muy bajos de inercia. Considerando las metas de descarbonización y que como país tenemos un gran potencial solar este es un escenario muy probable y que nos impone grandes desafíos en términos de la mantención de la frecuencia en el Sistema.

Por último, sabemos que la frecuencia de los Sistemas Eléctricos dependen del balance de carga. En general, lo que siempre debemos procurar es que la potencia generada sea igual a la potencia demandada más las pérdidas (Figura 35).

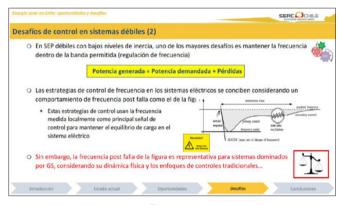


Figura 35

Si cumplimos con este balance, la frecuencia está en su valor nominal. Los Sistemas Eléctricos son tales que, si hay un desbalance, la frecuencia cae o aumenta según la respuesta inercial de las máquinas sincrónicas, debido al acoplamiento de los generadores sincrónicos con la red. Sin embargo, en un sistema en que ya no tenemos máquinas sincrónicas, es decir, un sistema sin inercia, la frecuencia ya no va a ser una variable física que está acoplada a las máquinas rotativas. Vale decir, cuando ya no quede ninguna máquina sincrónica en operación, la frecuencia no tendrá ningún significado; es decir, la frecuencia ya no nos va a servir para determinar si el Sistema está en equilibrio en términos del balance de carga (Figura 36).

La pregunta del millón es cómo sabremos en un Sistema sin inercia si existe balance de carga, dado que el balance ya no va a estar relacionado con la frecuencia del Sistema; podremos mirar la frecuencia, pero la frecuencia estará impuesta por los convertidores, por lo que va a ser siempre 50 Hz. A la fecha no hay alternativas claras de cómo mantener el balance de carga en un Sistema sin máquinas sincrónicas, es decir, cuando ya no sirve "mirar" la frecuencia.

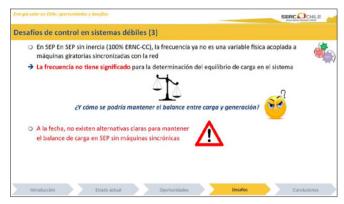


Figura 36

Y esta es la última diapositiva para ya cerrar, las conclusiones.

Otros temas que también serán clave en los Sistemas Eléctricos con altos niveles de renovables son los temas de control y aquí me gustaría hablar de los retardos (Figura 37).

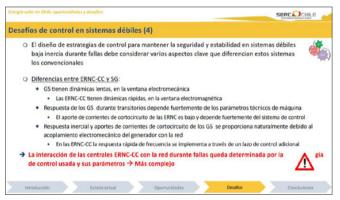


Figura 37

Los retardos en el procesamiento de señales comienzan a ser relevantes cuando hay altos niveles de renovables. También comienzan a surgir inestabilidades de control, a producirse interacciones dinámicas rápidas por acoplamientos entre convertidores o entre convertidores y la red (Figura 38).

Para cerrar la presentación, el potencial renovable en Chile es extraordinario, sin embargo, todavía faltan esfuerzos para poder desarrollar una industria local de la energía solar, que nos permita decir que efectivamente estamos aprovechando al máximo este potencial enorme que tenemos en el norte (Figura 39).

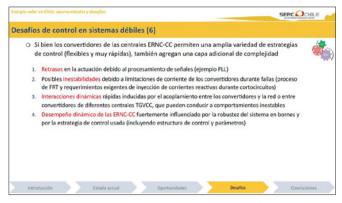


Figura 38

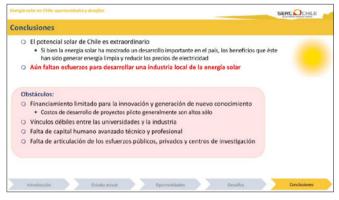


Figura 39

Los obstáculos para desarrollar esta industria son: falta financiamiento para innovar y generar nuevo conocimiento, vínculos débiles entre las universidades y la industria, falta de capital humano avanzado. Si bien como país hemos hecho avances, yo creo que todavía falta.

En términos de los desafíos técnicos, es importante tener en consideración que para poder cumplir con todas las metas de energías renovables que tenemos en Chile y en general a nivel del mundo, vamos a necesitar superar muchos desafíos. Para el caso chileno, estos desafíos podrían ser particularmente críticos por las características inherentemente débiles del Sistema: red extremadamente longitudinal poco enmallada y con bajos niveles de inercia, además está el tema de la distribución desigual de la inercia, que podría ser un tema bastante grande a nivel nacional. Por ende, a nivel nacional se deben realizar varios estudios de forma de lograr estas metas de ERNC sin comprometer la seguridad de suministro de nuestro país.

Muchas gracias.

Al término de su Conferencia, la Sra. Rahmann respondió consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Jadille Mussa.

—Si bien las pequeñas Plantas Solares para Generación Eléctrica solo ingresan al Sistema de Evaluación Ambiental como DIA, posible que las empresas también puedan hacer proyectos de mitigación y compensación ambiental en el paisaje, en especial en Copiapó y que estas Plantas puedan incluir la preservación de semillas del desierto florido, por ejemplo.

Sra. Claudia Rahmann.

—Creo que sí, de hecho, este proyecto que mencioné Ayllu solar, en la región de Arica y Parinacota, es un ejemplo claro de iniciativa. Se pueden hacer muchas cosas y hay mucho potencial para desarrollar la energía solar en comunidades más pequeñas o en industrias o empresas. En Chile, hemos desarrollado fuertemente la generación de energía eléctrica a gran escala. Pero a nivel de pequeña generación distribuida, efectivamente tenemos poco. Yo creo que es porque ha costado más la disminución de costos, pero de todas formas está bajando mucho más y ese tipo de cosas son los proyectos que deberían ser aprobados inmediatamente, porque en el fondo hay varias externalidades positivas.

Sr. Cristian Ascencio.

—Respecto a la energía no convencional. ¿Cuál es su impacto en la productividad?

Sra. Claudia Rahmann.

—En términos de productividad en realidad uno podría decir muchas cosas, depende de donde se mire y cómo se mire. Creo que la energía no convencional no ha logrado sacar el máximo provecho en términos de productividad. Por ejemplo, en Chile podríamos producir nuestros propios paneles y tener así un mayor impacto a nivel nacional. En ese sentido, de industria renovable, el impacto no creo que haya sido muy grande en el país. No sé si es a eso lo que se refiere Cristian.

Ahora, si a lo que se refiere Cristian es si conviene o no este tipo de proyectos solares o eólicos, eso va a depender siempre de dónde se pone la Central y el potencial que ahí existe. En Chile tenemos la suerte de que tenemos muchas zonas en las cuales la generación fotovoltaica y eólica pueden ser súper eficientes y por ende traer una gran rentabilidad. Antiguamente los costos eran altos y por eso veíamos pocas renovables, teníamos mucho sol en el norte, pero ningún panel fotovoltaico instalado. Pero la introducción de nuevos agentes al mercado, por ejemplo, China, han llevado los costos literalmente al suelo. La caída de los costos, sumado al potencial que tenemos, hace que efectivamente si yo instalo paneles fotovoltaicos en el norte, por ejemplo, debería tener buena productividad, por ejemplo, si se trata de una empresa minera.

Sra. Karina López.

—Cuál es tú opinión sobre la factibilidad para la implementación de proyectos del tipo Behind the matters para grandes consumidores industriales en su relación con el Coordinador Eléctrico Nacional, pensando en usuarios libres ubicados en el norte que quisieran explotar el potencial de energía solar en el lugar donde se emplazan.

Sra. Claudia Rahmann.

-Entiendo que acá estamos hablando de lo que vendría siendo las Redes Inteligentes. En mi opinión el tema de la red inteligente va a venir sí o sí, de todas formas, porque las metas de renovables ya están presentes en casi todo el mundo. Si asumimos que las metas se cumplen, entonces vamos a tener sistemas con muchas energías renovables que, por todas las complejidades desde el punto de vista técnico, van a requerir que los sistemas eléctricos implementen redes inteligentes. Ahora, hoy en día, las instalaciones para poder hablar de redes inteligentes a gran escala no existen y entre las principales falencias están los temas de comunicación. Cuando hablamos de redes inteligentes necesitamos una amplia red de comunicación y no las redes de comunicación que tenemos hoy, en las cuales el operador simplemente observa alta tensión y quizás hasta media tensión, pero de las distribuidoras aguas abajo no se sabe lo que pasa. Si quisiéramos incorporar medidores inteligentes en distribución, necesitamos un upgrade de las redes de comunicaciones. Sin embargo, no basta con tener una super red de comunicación, si no tenemos

miles de millones de datos generados cada segundo por estas unidades. Lo que tampoco tenemos es capacidad de procesamiento de datos. Podemos hablar del Cloud computing, por supuesto, pero ahí hay otros desafíos como los temas de ciberseguridad. Entonces, son varios los desafíos y temas en los que se puede trabajar.

Sr. Douglas Pollock.

—Su opinión, primero, ¿por qué en todas partes del mundo en que aumenta la participación de generación renovable siempre e inevitablemente sube el costo de la electricidad, aunque el costo de inversión haya bajado enormemente en la última década? Y, segundo, ¿qué se hace con la generación por sobre la demanda horaria, a quién se le vende?

Sra. Claudia Rahmann.

—Lo primero, aclaro que los temas económicos no son mi fuerte. No estoy segura de que siempre suba el precio, nosotros en Chile hemos visto disminuciones de precio. Eso va a depender siempre del esquema de pagos que tenga cada país. Los precios, en lo que se conoce en Chile como el mercado spot, esos precios, siempre van a bajar en la medida que se tengan niveles razonables de renovables. Pero en el mediano y largo plazo va a depender. Va a depender de los contratos que existan; de las distribuidoras o las grandes empresas, como las mineras, por ejemplo. Dicho eso, es bueno recordar que cuando pagamos nuestra cuenta de luz a la Compañía X, no solo pagamos por la energía que usamos, también hay otros pagos asociados a la transmisión y otras instalaciones que permiten que el sistema funcione. Entonces, efectivamente, puede ser que uno no vea directo que baje mucho el precio de la energía producto de los contratos o por que fue necesario invertir en la red para poder operar de manera segura. Podemos tener muchas renovables, pero igual debemos mantener operativo todo un sistema que se debe pagar.

Por otro lado, igual me gustaría aclarar que la disminución de los costos producto del aumento de renovables en algún punto satura, es decir, en algún punto ocurre que yo ya no pueden seguir bajando los costos justamente por los temas de los desafíos técnicos. En algún minuto si bien el costo de operación va a bajar porque el sol y el viento son gratis, lo que va a subir es el costo de inversión porque se tendrían que instalar, por ejemplo, baterías para poder

mantener el balance de carga en el sistema. Entonces si bien baja el costo de operación porque no hay costo por combustible, sube el costo de inversión porque se debe invertir en infraestructura para mantener el balance en el sistema, entonces al final se produce un neteo, ya no sigue bajando el precio o eventualmente puede comenzar a subir.

Con respecto a la segunda pregunta, qué se hace con la generación que sobra, depende. Si no tengo equipos de almacenamiento como baterías, se debe hacer lo que se conoce como vertimiento, es decir, se pierde la energía. Si es que la central tiene equipos de almacenamiento, carga los equipos de almacenamiento para poder vender esa energía después, cuando el sistema tenga espacio para la recepción de esa energía.

Sr. Rodrigo Sepúlveda.

—¿Qué están haciendo los otros países para atender el problema de la inercia de las energías no convencionales?

Sra. Claudia Rahmann.

—Como les comentaba en la presentación, actualmente existen soluciones técnicas para poder generar respuesta inercial virtual o lo que se conoce como respuesta rápida de frecuencia en las renovable, para que ellas emulen la respuesta inercial de los generadores sincrónicos. De hecho, hay varios códigos de red en el mundo que ya exigen a estas unidades que sean capaces de aportar con respuesta rápida de frecuencia. Sin embargo, para que las renovables puedan hacer eso necesitan guardar reservas, y eso implica que, en caso de no tener equipos de almacenamiento, no pueden operar en él punto óptimo, es decir, deben realizar vertimiento. Si bien también pueden hacerlo vía almacenamiento, hay un costo de inversión asociado.

En el caso de Irlanda y Australia, para afrontar los problemas de inercia están imponiendo restricciones a la operación, como exigir una cantidad mínima de máquinas sincrónicas en operación, es el caso Australia; y en Irlanda, por ejemplo, donde el nivel de penetración renovable máximo está restringido.

Aquí en Chile también se hizo, cambiar la operación por temas de inercia, esto antes de la interconexión SIC-SING.

Sr. Germán Millán V.

—En este nuevo escenario de miles de generadores descentralizados con más "debilidad" para el Sistema, cómo se relaciona la robustez, la necesidad de inercia etcétera, con la necesidad de redundancia en la generación total del Sistema y, por lo tanto, la posible necesidad de mayor inversión en capacidad instalada con efectos en precio de venta etcétera.

Sra. Claudia Rahmann.

—No estoy segura a lo que se refiere con redundancia Germán. No sé si es en línea con el criterio n-1 o en términos de cuánto más hay que tener en capacidad instalada para temas de frecuencia.

Si es por balance de carga, en Sistemas con muchas renovables hay que tener mayor redundancia para mantener un mismo nivel de seguridad, debido a la variabilidad e incertidumbre de los recursos renovables.

En temas de inercia, incluso si las unidades renovables son capaces de aportar con respuesta inercial virtual dejando una reserva, esa respuesta no es igual de segura que la respuesta inercial de un generador convencional. En el caso de un generador sincrónico esta respuesta inercial es natural y se saca de la energía almacenada en sus partes rotatorias, entonces el generador no tiene que guardar reserva para aportar con la respuesta inercial, la entrega ocurre de manera natural.

En el caso de las renovables, si tienen que "guardar" una reserva para la respuesta inercial, la incertidumbre del recurso y los temas de control asociados hacen que esta respuesta sea diferente a la de los generadores sincrónicos. Entonces, efectivamente en términos de sobredimensionamiento, a causa de esta incertidumbre y variabilidad de las renovables, podría ser que se deba tener una reserva mayor, porque "la reserva" de una renovable es menos segura que la reserva de una convencional, a no ser que haya un equipo de almacenamiento entremedio. Sin embargo, el equipo de almacenamiento cambia todo porque también sube el costo de inversión.

Muchas gracias.

Fin de la Conferencia.

"LA MEGA SEQUÍA EN CHILE CENTRAL. ¿LLEGÓ EL FUTURO?"

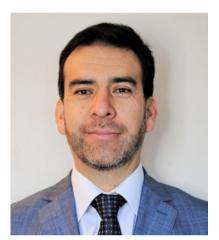
Conferencia Sr. René Garreaud S., Director del Centro de Ciencia del Clima y la Resilencia (CR2).

"GESTIÓN DE ESCASEZ HÍDRICA, HERRAMIENTAS DEL NUEVO CÓDIGO DE AGUAS"

Conferencia, Director (S) de la Dirección General de Aguas, MOP.



Sr. René Garreaud S.



Sr. Cristian Núñez R.

El día martes 31 de mayo de 2022 a las 11:00 horas, vía Zoom, se realizaron las conferencias del Sr. René Garreaud, con el tema "La Mega Sequía en Chile Central. ¿Llegó el futuro?", y del Sr. Cristian Núñez, quien expuso el tema: "Gestión de Escasez Hídrica, Herramientas del Nuevo Código de Aguas".

René Garreaud es Profesor Titular del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y Director del Centro de Excelencia FONDAP de Investigación del Clima y la Resiliencia (CR2). Ha sido también director del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (2008-2009) y presidente del Consejo Superior de Ciencias de FONDECYT (2013). El año 2016 fue invitado como Research Fellow a la Universidad de Yale, EE. UU., mantiene una activa participación en iniciativas científicas nacionales e internacionales, Es el codirector de la iniciativa ANDEX y ha organizado numerosas conferencias científicas en Chile y el extranjero. Su formación académica incluye el Grado de Doctor en Meteorología obtenido el año 2000 en la Universidad de Washington, Seattle, EE. UU., el título de Ingeniero Civil y el grado Magíster en Ciencias de la Universidad de Chile (1993).

Cristian Núñez es Ingeniero Civil con mención Hidráulica, Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Chile, Magíster en Administración de Empresas de la Universidad Adolfo Ibáñez. Con más de 20 años de experiencia, se ha especializado en temas relacionados con gestión de recursos hídricos, calidad de aguas, evaluación de impacto ambiental y gestión de desarrollo sostenible, entre otros. Profesionalmente inició su carrera como ingeniero en la Dirección General de Aguas, fue Ingeniero de Proyectos en una Empresa Sanitaria, investigador y docente en la División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente de la Universidad de Chile, y también ha sido Gerente de Medio Ambiente y Sustentabilidad tanto en empresas mineras como de energía. Antes de su llegada a la Dirección General de Aguas fue Gerente de Medio Ambiente de ENAP. Desde el 1 de junio de 2021 es Subdirector de la Dirección General de Aguas. A contar del 1 de enero de 2022, asume, el cargo de Director General de la Dirección General de Aguas Públicas en calidad de Subrogante.

Sr. René Garreaud.

—Muchas gracias presidenta por la gentil invitación que se me hizo.

Este es un tema que lamentablemente en todos los años seguimos hablando de él y probablemente, como vamos a ver seguiremos hablándolo y bueno, para eso estamos los ingenieros para tratar temas complejos y resolverlos. Pero para ello, tenemos que conocer un poco más del fenómeno y adoptar medidas acordes con eso.

Llevamos dos años y esta es la pregunta estándar en el Centro del Clima y la Resiliencia. En general en la comunidad climática se ha estado hablando de este tema por varios años, por muchos años y ya hemos introducido una serie de términos que no estaban siendo mencionados como hablar de la sequía, pero se empezó a hablar de la mega sequía, incluso ahora hablamos de algunos períodos de hiper sequía; estamos en este período en que hay una constatación de que está cambiando la hidrología y muchas cosas más, pero se podría uno preguntar: ¿El futuro ya llegó? (Figura A1).



Figura A1

Las motivaciones de esta presentación. Probablemente, a la mayoría de ustedes les son familiares estos escenarios de cambio climático y pueden ser pesimistas u optimistas, pero, en general y lamentablemente, uno podría resumir la historia más o menos así. Imaginemos que los años 90 y los 80 y principios de este milenio la normalidad era el 100% de precipitación, nosotros sabemos que, hacia fines de siglo, como era la precipitación respecto a esa normalidad. La precipitación hacia fines de siglo debería disminuir debido al cambio climático, a la concentración

de gases con efecto invernadero en la atmósfera. Pero eso siempre lo hemos dicho, es hacia fines de siglo. Pues bien, desde el 2010 en adelante como vamos a ver hemos tenido un periodo continuo de baja precipitación y en particular sabemos que el futuro se ve inexorable lamentablemente, pero la pregunta es ¿ya llegó el futuro?, ¿vamos a continuar pegados en este este clima tan seco?, ¿va a haber alguna reversión?, ¿va a ser mezclado?, ¿va a ser peor? Por supuesto, son preguntas muy importantes y que la comunidad científica todavía no puede definir con certeza, pero yo les voy a contar algo del estado del arte, tratando de resolver este signo de interrogación que tenemos.

Insisto en que esto no es solamente un problema académico, sino que tiene muchas implicancias, ya que es muy distinto decir que ya estamos en este nivel basal y que puede haber reversiones; así que volviendo a nuestro carácter ingenieril a mi formación original, uno necesita estas condiciones de borde para planificar una serie de cosas (Figura A2).



Figura A2

En primer lugar, no se puede olvidar qué, en Chile Central, y cuando hablo de Chile Central donde está ubicada gran parte de la población y muchas de las actividades económicas, el clima es muy dependiente de que llegue un sistema frontal, y la verdad es que tenemos este anticiclón del Pacífico frente a nuestras costas que hace muy difícil la llegada de estos sistemas frontales que causan la precipitación. Entonces, en particular, piense usted en el caso de La Serena, en que normalmente llegan a apenas unos tres o dos sistemas frontales por año, entonces si falta uno la sequía es absoluta; si sobra uno, estoy en un superávit pluviométrico. Y eso lo determina cuán intenso y persistente está el anticiclón y también el flujo del oeste, que es lo que mueve los sistemas más hacia el sur

de Chile. Así qué en un contexto de climatología básica, nuestro clima, inherentemente es medio bipolar, debido justamente a que dependemos de un número relativamente pequeño de sistema frontales que pasen por acá (Figura A3).

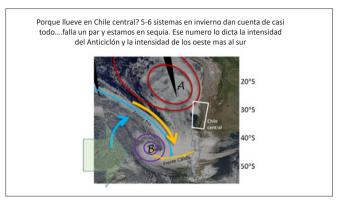


Figura A3

Hay varios índices, pero es la Estación Quinta Normal que es la curva más antigua en que tenemos datos, desde 1866, incluso un poquito antes, permite apreciar estas grandes variaciones que hemos tenido de la precipitación a todo normalizado respecto a un cero de referencia. Y también tenemos, a medida que va pasando el tiempo, registros más completos en la región más o menos entre 30 °C y 37 °C y ustedes ven esta subida y bajadas precisamente porque dependemos mucho del número de frentes que nos lleguen (Figura A4).

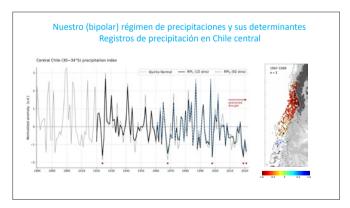


Figura A4

Otra manera, de verlo y qué da cuenta de la tremenda variabilidad, son las típicas curvas que van acumulando la

precipitación desde el comienzo enero y por definición uno dice el primero de enero ahí coloco el cero y llego hasta el 31 de diciembre y ustedes ven como hay un rango que va desde años muy secos con el año 68, por ejemplo, en que cayeron menos de 100 mm. Hay unos pocos ejemplos así hasta 800 mm, entonces se ve realmente muy grande la variación. Hay determinantes de gran escala que hacen que ese número de sistemas frontales cambie de un año a otro (Figura A5).

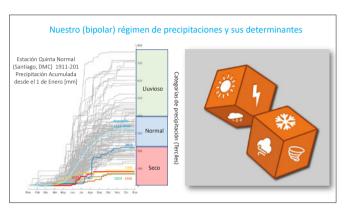


Figura A5

Y en particular, fijándose en las en todas las sequías antes del año 2010 o sea la sequía histórica, yo veo ciertos rasgos que son comunes, por ejemplo, todas las sequías son secas en Chile central y una en una diagonal que se extiende desde el Pacífico hacia nuestras costas, tienen un rango, estas son diferencias respecto a la condición normal, entonces en este caso el color es amarillo y esto es lo que llamamos el geopotencial, 500 pascales. Pero para hacerlo simple, piensen ustedes en la presión en algún nivel cercano a la superficie, entonces estos años son justamente los años en que estas anomalías positivas indican que el anticición está más intenso y por el contrario estas anomalías negativas, quiere decir que las bajas presiones más al sur son más potentes. De alguna manera el cinturón de los oestes se intensifica, pero se corre hacia el sur y por lo tanto la posibilidad de que lleguen sistemas frontales a Chile Central disminuye. Y una cosa, si bien es cierto es el mecanismo más directo, nos hemos fijado que históricamente esas anomalías de presión de gran escala que finalmente determinaban la suerte pluviométrica de la zona central de Chile, muchas veces ocurrían con un Pacífico muy frío en la zona tropical. Eso es justamente lo que le llamamos los años de la Niña, por el contrario, los años del Niño son los años cálidos (Figura A6).

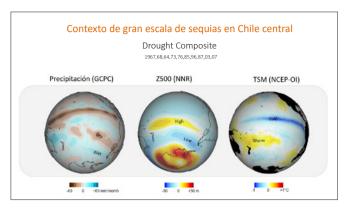


Figura A6

De hecho cuando yo me formé, con varios colegas como Ximena Vargas, Ernesto Brown y mis colegas de geofísica, el índice por excelencia para mirar el régimen pluviométrico en Chile Central era este índice del Niño, un índice que da cuenta de las temperaturas en la zona subtropical y tropical del Pacífico muestra que hay una cierta correlación; bueno con bastante dispersión, pero en general, los Niños tienden a ser lluvioso, y las Niñas tienden a ser secos y los años intermedios tienden a ser cualquier cosa, no hay mucha predictibilidad acá. Así que las Niñas eran fundamentalmente los años secos acá en Chile Central (Figura A7).

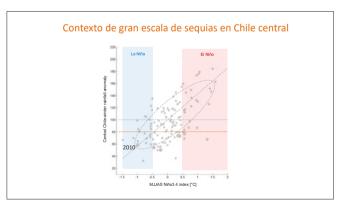


Figura A7

Veamos qué ha pasado volviendo a este clima bipolar. Entrando ya en materia respecto a la mega sequía, ustedes ya vieron este clima en el registro de Quinta Normal y se ve como mi electrocardiograma, con subidas y bajadas muy grandes. Para suavizar un poco y sacar la variabilidad, la frecuencia hasta la media móvil que ha pasado efectivamente por períodos más altos, y por períodos más bajos. Pero estos

últimos 10 años han sido los 10 años más secos del registro. En Santiago y Chile Central hay muchas Estaciones y si bien es cierto hemos tenido un año extremadamente seco como el 2019, ha sido en parte porque hemos tenido una secuencia ininterrumpida de años secos. Entonces para distinguir de una sequía más normal, que es de uno o dos años de duración, este periodo continuo, que además ha tenido unos períodos actualmente secos, pero todos han estado por debajo de lo normal, en lo que llamamos la mega sequía. Cuando uno ve qué tiene de especial esta década tan seca, ustedes, por ejemplo, pueden tomar la década de los años 60 y los 70 que también fue seca porque incluyó al año 68. Pero fíjense que en cualquier década que yo mire en la historia hacia atrás, siempre hubo años que tuvieron sobre los 300 e incluso años que tuvieron sobre los 400 y 500 mm que es mucho para Santiago. Aquí parece que hubiéramos interrumpido el registro, pero en realidad están todos los números por debajo, así que lo que ha sido muy determinante es la persistencia de esta condición seca y para destacarlo y para colocarle un nombre un poco más rimbombante le pusimos la Mega Sequía (Figuras A8 y A9).

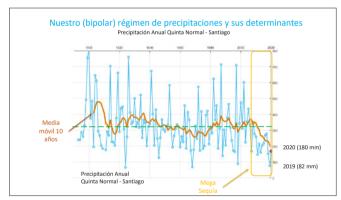


Figura A8

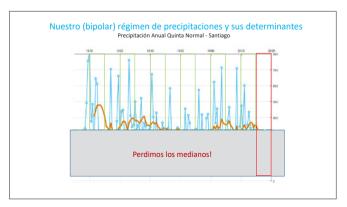


Figura A9

La Mega Sequía como ya lo dije, ha afectado tanto en términos porcentuales como en términos de valor absoluto. La métrica cambia un poco, pero ustedes ven que efectivamente afecta más o menos desde La Serena hasta el Biobío, incluso parte de la Araucanía, así que ha sido una sequía larga, extensa y que ha tenido también otras características (Figura A10).

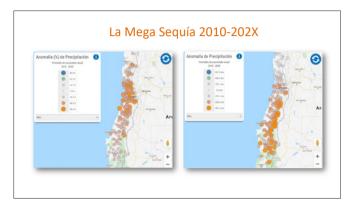


Figura A10

Este es un gráfico medio complicado, pero de nuevo aprovechándome de que Santiago tiene registros de buena calidad y de largo período, cada puntito en este gráfico es un año; el eje horizontal es la precipitación, el eje vertical es la temperatura de ese año, los puntos celestes son todos los años antes del 2010, desde 1950 en adelante y los puntos naranjas son la Mega Sequía, la última década. Por supuesto, por derecho propio están todos juntos a la izquierda de la vertical que es el promedio, pero además están sobre la horizontal que es la temperatura media, eso muestra que esta sequía, a diferencia de otros años como el 68, además ha sido particularmente cálida. Y bueno ahí uno puede tratar de calcular cuánto es el aporte evapotranspirativo, cuánto mal le ha hecho este aumento de temperatura probablemente a la vegetación natural. No solamente es un problema de precipitación, también es un problema de mayor evaporación y otro tema son los consumos que en algunos casos han ido aumentando y esta es la parte de la oferta (Figura A11).

Hemos visto consecuencias de todo tipo; por supuesto la más obvia es tener menos precipitaciones, la disminución en los recursos superficiales. Una cosa interesante que ha visto fundamentalmente una colega, Camila Álvarez Garretón, es que los déficits fluido métricos, tienden a ser mayores que los déficits pluviométricos, hay una cierta

amplificación de la sequía a medida que me muevo de la atmósfera a la hidrosfera, porque de alguna manera empieza a cambiar el sistema y eso es lo que llamamos memoria hidrológica. Básicamente el concepto es que 10 años secos no es equivalente a un año seco multiplicado por 10 veces, lamentablemente las cosas se van sumando y eso lo vemos tanto en la memoria hidrológica como en la vegetación. Comentaba con colegas de que alguna vegetación está acostumbrada a la sequía unos dos años, lo resiste, pero cuando uno ya tiene 10 años de sequía las cosas empiezan a colocarse realmente malas y de hecho eso se ve en los últimos años en la pérdida de vigor fotosintético del bosque esclerófilo (Figura A12).

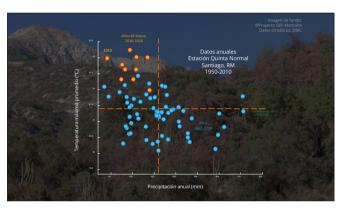


Figura A11

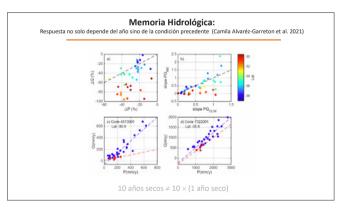


Figura A12

Por otra parte, hemos perdido lo que yo llamo a los gigantes, pero los podríamos recuperar, ojo con eso. Acá hay una muestra de los caudales máximos anuales de cada año; desde el Maipo hasta el Toltén y entre más grande el símbolo, mayor el caudal de ese año y efectivamente, excepto tal vez en la zona más al sur, uno ve el Río Maipo en el Cabimbao, Mataquito, en Desembocadura y hace mucho tiempo que no ha habido una crecida de periodos de retorno alto, pero insisto, hay que ser muy cuidadoso con eso porque, por otra parte, si me voy un poco más al norte, piensen ustedes lo que pasó en Atacama con los aluviones, lamentablemente un clima en promedio más seco no imposibilita la posibilidad de tener tormenta intensa y eventualmente combinadas con temperaturas altas (Figura A13).



Figura A13

Acá cambié a una escala logarítmica, la precipitación para mostrar qué si bien es cierto que se aplana un poquito el electrocardiograma, se destaca esto que voy a llamarla híper sequía, que son los años en que nosotros dijimos 100 mm en Santiago, por dar una referencia. La primera la tuvimos el año 24, de ahí nos saltamos al año 68, después vino el año 98 ustedes lo recordarán muy bien y después tuvimos el 2019 y el 2021 sobre 100 mm, pero en parte fue porque tuvimos una tormenta de 40 mm en enero. Si les sacamos eso, también el 2020 y 2021 calificarían como híper sequía.

Creo que ese es un tema nuevo, un concepto, un nombre nuevo que le pusimos, hay que empezar a seguir porque como ingeniero cierto nos damos cuenta de que una cosa es tener un déficit permanente de 20% y 25% hasta el 30%, pero cuando viene esta híper sequías en que lo que llueve es el 20% o sea tengo un déficit del 80%, todos estamos súper sensibilizados respecto a lo que puede pasar y el escenario efectivamente es preocupante, especialmente viendo esta aparente disminución del periodo de retorno de esta híper sequía. Es un tema que deberíamos mirarlo con detalle, cómo van a venir éstas híper sequias en el futuro (Figura A14).

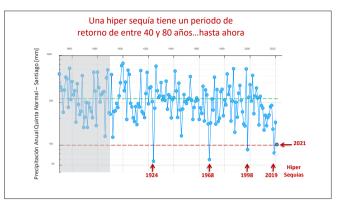


Figura A14

Hemos visto los impactos no solamente pluviometría y en muchas otras cosas y les puedo hacer llegar otro material al respecto los impactos de la mega sequía como decía en la vegetación y en los incendios forestales (Figura A15).

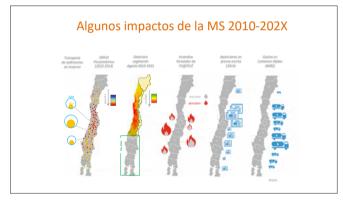


Figura A15

Ya constatamos el efecto de la Mega Sequía, ya les mostré estos mapas anteriormente, en que las sequías tenían esta condición fría en el Pacífico; tenían este dipolo de alta presión en la zona subtropical, bajas presiones más al sur, cuando ve estos últimos 10 años, la verdad que en realidad se parece bastante a nuestras sequías habituales; en particular ustedes ven acá reforzado el anticiclón y por otra parte con presiones muy bajas en torno a la periferia antártica y eso es lo que de alguna manera secuestra o se lleva a los sistemas frontales hacia el sur y lamentablemente nos dejan sin sistemas frontales en la zona central. Pero este es como el juego de las 7 diferencias todo se ve bastante parecido, pero fíjense que, a diferencia de la sequía histórica, en que la señal de la Niña era muy clara, en la mega sequía hemos perdido esa condición fría, de hecho,

ha sido más bien neutra y lo que ha aparecido de manera muy prominente, ha sido un calentamiento en el Pacífico subtropical, sur occidental, cerca de Nueva Zelandia. Ahí había un calentamiento extraordinario en los últimos 10 años; partió más o menos en los años 80, pero se ha manifestado de manera muy rotunda en los últimos 10 años aproximadamente, investigación que hemos hecho con muchos colegas a lo que le pusimos la Mancha Cálida y el año pasado tuvo alguna prensa la famosa Mancha Cálida. Nos dimos cuenta de que la Mancha cálida estaba jugando el rol de la Niña. La Mancha cálida era la responsable de este incremento de presiones acá, había una transferencia digamos de temperatura al campo de presión y eso era lo que en definitiva estaba explicando buena parte de nuestra Mega Sequía tan prolongada acá en Chile Central (Figura A16).

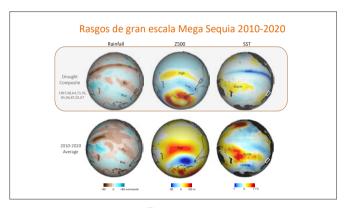


Figura A16

Antes el mundo era bien simple porque solamente teníamos el Niño y cuando había Niño se incrementaban las presiones acá y se debilitaban las trayectorias de tormenta; en este momento lo que está haciendo el mayor esfuerzo, como les decía, este calentamiento subtropical tiene las mismas consecuencias, aumenta la presión en la zona subtropical y disminuye acá en la zona austral (Figura A17).

La pregunta fundamental para esta conferencia era ¿cómo se ve el futuro y qué relación tiene todo esto que ocurre para el futuro? Entonces, recuerden que el futuro es abierto no sabemos cómo va a ser, pero uno tiene escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y en base a eso lo pasa por nuestros modelos de circulación general y ve que el futuro es incierto y no sabemos cómo va a ser, pero uno tradicionalmente toma el escenario bien negativo de gases con efecto invernadero, que nos da, así como el peor

escenario para ver cómo viene la mano. No es un pronóstico, eso especialmente hay que decírselo a los jóvenes que dicen estamos fritos, no, dependiendo del escenario las cosas más o menos va para allá, pero el grado o dónde van a llegar es muy distinta, pero insisto, no en un pronóstico, sino que en un escenario (Figura A18).

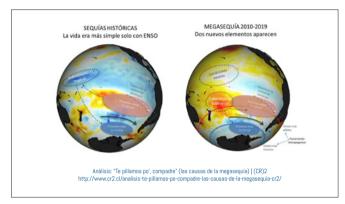


Figura A17

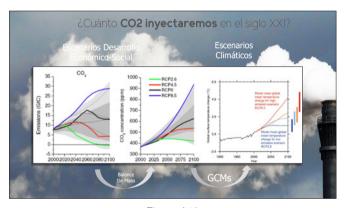


Figura A18

Y bajo ese escenario, efectivamente uno ve acá este tremendo déficit más o menos en la zona donde está la Mega Sequía hasta el 40%, 45% en Chile Central, insisto bajo el escenario antes se llamaba RCP 8,5; pero el escenario fuerte de emisiones, con una pérdida muy sustantiva de precipitaciones en gran parte de Chile, pero particularmente marcado acá en la zona más o menos entre la región de Valparaíso y el Biobío, aproximadamente (Figura A19).

Entonces, esa es una imagen era la que mostré en la serie de tiempo al comienzo; que me dice el futuro es así, por lo tanto, a lo mejor el futuro ya llegó o sea entonces la pregunta válida es, ya que no es la Niña, porque ya

descartamos la Niña, dijimos que era la Mancha, pero a lo mejor la Mancha es parte del cambio climático, entonces uno puede preguntar a los mismos modelos ¿cómo va a ser ese futuro distante?, ¿cómo está?, ¿qué es lo que nos dicen de la actualidad? Y en base a eso hacer una atribución de la Mega Sequía, recuerden que este mapa es ahora global, pero muestra de nuevo acá en color azul esta pérdida de precipitación en Chile Central. Los modelos, efectivamente muestran un pequeño, un tenue color azul para esta década. Los modelos partieron hace mucho antes y yo les estoy preguntando, dígame lo que está pasando en esta década en promedio, este es un promedio de muchas simulaciones que me da una respuesta robusta del cambio climático y si bien es cierto hay un déficit de precipitación es relativamente menor (Figura A20).

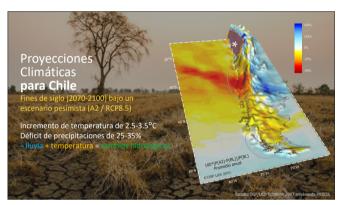


Figura A19

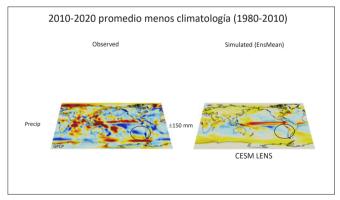


Figura A20

De manera probabilística yo le puedo preguntar a todos los modelos ¿qué va a pasar? o ¿qué está pasando en esta década? Y me dicen, efectivamente hay una tendencia que está década ya debería ser más seca que la histórica,

se refiere a 1980 a 2010, pero esos valores en promedio son mucho menores que los valores observados y eso da cuenta de que la mega sequía tiene una componente antropogénica y está metido el cambio climático, pero no lo es todo, todavía hay mucha variabilidad (Figura A21).

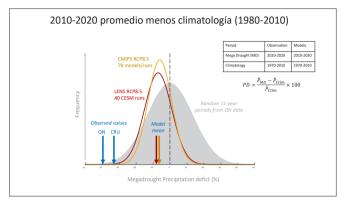


Figura A21

Y eso se relaciona, por ejemplo, con este dipolo de presión, que es lo que finalmente explica nuestra sequía, no se ve tan marcado en la simulación, así que hay toda una consistencia dinámica que nos permite decir de que el cambio climático ya está contribuyendo a la Mega Sequía, pero es una es una parte nomás y es una parte que es un poco menos de la mitad un tercio un cuarto, no podemos ser tan precisos con ese número (Figura A22).

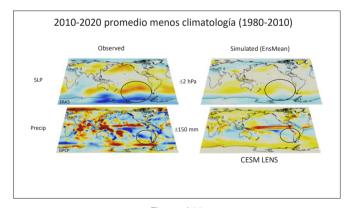


Figura A22

Entonces en la pregunta inicial, podemos cambiar el signo interrogación porque ahora sabemos que esta sequía, en parte ha sido aproximadamente un tercio de la señal completa, ha sido por cambio climático, pero hay unos dos tercios todavía que tiene que ver con esta Mancha Cálida y con componentes naturales del sistema que todavía actúan. La Niña y el Niño no es lo único natural de este mundo, hay muchas otras oscilaciones que todavía son naturales, así que una combinación donde más de la mitad aún es natural, y solamente en base a eso, no es un pronóstico para un año en particular, esta parte, la parte antropogénica no va a desaparecer y lo único que va a hacer es seguir aumentando en el tiempo, pero como hay una parte que aún es natural y esa parte usualmente la naturaleza está compuesta de ciclos, es probable de que en promedio tengamos alguna década en que afloje un poco respecto a la actual Mega Sequía. No es muy difícil porque como les decía yo, cuando uno ve la historia, si esta década ha sido terrible, básicamente porque no hemos tenido ningún año bueno, cuando digo bueno me refiero a ningún año con alta pluviosidad, así que no es impensable de que en la próxima década tengamos un año en que, todo lo contrario, tengamos por sobre los 300, 400 mm y eso va a ser de que la década cuando la veamos como promedio, probablemente sea un poquito mejor que la década que estamos viviendo. Entonces, ¿llegó el futuro? yo diría que aún no, pero así va a ser, por lo que creo que ese es el mensaje final. Como les decía la Mega Sequía nos da una sinopsis de lo que viene con todos sus problemas y sobre eso podemos trabajar, eventualmente podemos tener alguna reversión, no lo podemos descartar, nuevamente con periodos lluviosos, aunque todos los años los vemos con ansias y no pasa nada 10 años en el contexto climático no es un periodo tan largo, a nosotros se nos hace desesperante, pero cuando uno ve la historia tampoco es un período tan extremadamente largo (Figura A23).

Muchas gracias.

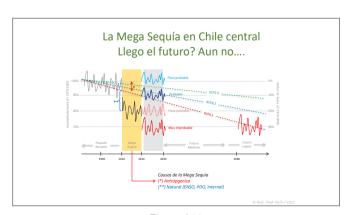


Figura A23

Sr. Cristian Núñez.

—Agradezco al Instituto de Ingenieros por la invitación (Figura B1).



Figura B1

El 6 de abril se promulgó el nuevo Código de Aguas, estamos en pleno proceso de implementación, el cual va a requerir de un tiempo, pero hay ciertas cosas que son importantes de destacar, para ir viendo cómo se está modernizando desde ese punto de vista la gestión del recurso hídrico, y la propia de la Dirección General de Aguas. Este Código nuevo entrega nuevas atribuciones, en el marco de autorizaciones de uso de agua, del proceso de fiscalización que debe realizar la DGA, ampliándolas labores y herramientas de gestión para la escasez, pensando en la gran preocupación de la sequía que ha afectado la zona centro y sur del país en los últimos 10 años. Hoy el tema de la redistribución de aguas o cómo se vive esta situación en las distintas cuencas es cada vez mucho más complejo y sostenido en el tiempo. En estas materias el Código trae un énfasis que vamos a revisar para finalmente, unos ejemplos de lo que estamos viendo hoy día en la práctica con temas de redistribución de agua en la Cuenca Aconcagua y otra que vamos a comentar también en la Cuenca del Choapa, dónde se es muy relevante contar con juntas de vigilancia que administren bien toda la cobertura territorial que corresponda (Figura B2).

En términos generales entre las atribuciones y funciones de la Dirección, está investigar, en el ámbito del recurso, la cantidad, la calidad, la conservación y protección del agua. Es un marco bastante amplio y eso se mantiene. Pero el desafío está en las mediciones, cada vez están siendo más

complejas; así como veíamos este desacople que hay entre precipitaciones y caudales, también hay temas técnicos que vale la pena relevar, por ejemplo, las curvas de descarga, que deben ser actualizadas en atención a que los caudales de los ríos se están comportando también de manera distinta y eso requiere un mayor despliegue en terreno. Por lo tanto, todo lo que es el servicio hidrométrico está en permanente remodelación y actualización; también estamos hoy día con una base importante de estaciones fluviométricas que transmiten en línea y vamos a finalizar este año con más del 90% de estaciones en línea. Esto implica que más de 1.000 Estaciones van a estar conectadas y transmitiendo información. Así que eso es un paso importante en términos de información y la disponibilidad de la misma a la comunidad y usuarios en general.

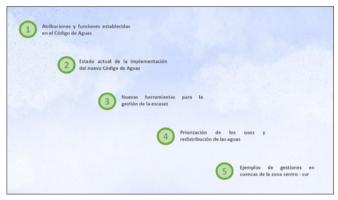


Figura B2

Una tercera parte son las autorizaciones en general que entrega la DGA y los cambios que vienen en el Código con respecto a las autorizaciones de aprovechamiento del agua en particular, que hasta antes de este Código se tenía una visión tradicional de que había una secuencia temporal en el otorgamiento y análisis de disponibilidad. Se presentaba una solicitud de autorización de aprovechamiento de agua, se establecía si había disponibilidad o no y en base a esas secuencias de presentación se iban otorgando derechos. Hoy día, con el Código nuevo esa secuencia cambia y se establecen usos prioritarios, donde hay tres ejes principales que son: el consumo humano y saneamiento, consumo de subsistencia y el tema de preservación de ecosistemas. Esos usos hoy, ya sea en la asignación o en la distribución de las aguas están por sobre el resto y eso es algo muy importante porque cambia la lógica y gatilla una serie de revisiones y actualizaciones de criterios técnicos de cómo se distribuye o se asigna el uso del agua. Junto a lo anterior está el tema de fiscalización, donde también hay más atribuciones, también se amplían los tipos de sanciones que puede ejercer la DGA.

Un tema importante, respecto a la planificación y gestión del agua que quedó establecido en el Código, son los planes estratégicos del recurso hídrico de cuencas, que deben considerar escenarios de cambio climático, establecer y proyectar la disponibilidad de agua a un horizonte de 30 años y, probablemente, van a ser parte importante de las consideraciones técnicas que utilizarán los Consejos de Cuenca junto a la gobernanza del agua que se establezca.

Finalmente, un tema que debemos priorizar es la supervisión del rol, atribuciones y tareas que tienen las juntas de vigilancia y las comunidades de agua. Siempre se ha mirado como una tarea muy aislada del contexto o muy del mundo de la agricultura, pero las Juntas de Vigilancia y Comunidades de Aguas tienen una serie de actores, donde se encuentran presentes las empresas sanitarias, las hidroeléctricas o el mismo consumo industrial, entre otros. Estas organizaciones deben velar por la correcta distribución del agua, no simplemente repartir acciones y eso en todo un ámbito geográfico y la DGA hoy día tiene la tarea de dar un mayor soporte para que se constituyan, se haga esa distribución de aguas como corresponde y también incorporar en estas gestiones el agua subterránea (Figura B3).



Figura B3

Es aquí donde viene un gran desafío, porque todo eso requiere obviamente de una buena red de medición; sin medición es muy difícil fiscalizar o gestionar lo que no se puede ver, por ejemplo, nos resulta mucho más natural hacer una redistribución de aguas en un río donde vamos

viendo los caudales, conocemos las acciones de los usuarios o como se establecen las cuotas. Pero en el caso del agua subterránea es mucho más complejo, requiere que avancemos en las mediciones efectivas y que estén en línea. Existen Comunidades de Agua, el siguiente paso es que se formalicen las que faltan a lo largo del país, y se midan de manera frecuente y/o en línea los consumos efectivos.

En términos generales el nuevo Código establece cuatro ejes prioritarios, voy a mencionar cosas que son muy importantes de mantener ahora en el foco de las acciones de implementación.

Se establece la priorización, para el eje derecho humano al agua y saneamiento. El consumo humano, el saneamiento, el uso doméstico o de subsistencia, tanto para la condición de otorgamiento cómo de distribución de las aguas y eso es clave dada las condiciones de escasez hídrica que se vive en la zona centro sur del territorio. Hoy día se pueden hacer prorratas que deberían siempre mantener este foco, es un cambio de paradigma y también va a requerir de mayor coordinación.

Velar por la armonía, entre la preservación de ecosistema y las actividades productivas del agua, es algo nuevo y necesario de abordar como país, que tiene que ver con la eficiencia y la seguridad hídrica, resguardando el consumo humano. Un tema importante es que no se pueden otorgar derechos de agua sobre glaciares; también hay una Ley de Glaciares que está en discusión, pero aquí el objetivo central es que son reservas de agua no tradicionales, a veces suena de perogrullo, pero lo olvidamos y, en realidad, es un tema de responsabilidad. No podemos hacer gestión sobre glaciares, pero sí protegerlos, sabemos que son reservas; también es altamente probable que de mantenerse las condiciones actuales en el futuro, estas reservas cada vez serán más escasas y muy expuestas, dado que hemos tenido los últimos años muy poca precipitación nival en la parte norte y central de Chile. Por lo tanto, estamos haciendo uso de esta reserva en la medida que se derriten y aportan sus caudales, en las épocas de verano principalmente.

El nuevo Código refuerza también el concepto de sustentabilidad. Hoy día tenemos muy claro el concepto de caudal ecológico en el agua superficial, pero debemos revisar las condiciones de sustentabilidad de los recursos superficiales en general y los subterráneos, en sintonía con las recargas, como condiciones medias. Pero efectivamente, el último año ha sido muy bajo en precipitación y también

está afectando está sustentabilidad o equilibrio que existe en nuestros acuíferos.

En términos de producción y gestión de agua, hay otro cambio importante para la DGA. Hoy en día los derechos de agua inscritos son del orden 140.000, pero ahora debe registrarse obligatoriamente todo lo que está en Conservadores de Bienes Raíces en un plazo acotado, generando un universo de unos 300.000. Gestionar toda esa información va a requerir un cambio tecnológico fuerte, somos el segundo servicio más demandado por información según el Consejo de Transparencia y si uno va sumando todos estos elementos en que tenemos transformaciones estructurales la DGA, requerirá de Sistemas de Información y desarrollo de la inteligencia del agua.

Hoy el flujo de información es muy demandante, tanto hacia las personas como entre servicios y en temas de gestión territorial. Viene la promoción de los Consejos de Cuenca, qué es lo que está trabajando el Comité Interministerial de Transición Hídrica Justa, que algunos han podido escuchar en los medios, liderada por el Ministerio de Ambiente, donde uno de los focos es establecer estos consejos, recoger la mirada de los territorios y fortalecer lo que es la gobernanza en cada una de las cuencas (Figura B4).



Figura B4

En términos de lo que cambió en el Código, estamos revisando del orden de 80 procedimientos internos, que tienen que ver cómo se asignan los derechos, cómo se establece la disponibilidad de agua, cómo se priorizan los usos, cuáles son las metodologías para gestionar la sequía, cómo se otorgan autorizaciones en estas situaciones y también cinco reglamentos nuevos, donde hay uno que tiene relación con el desarrollo y alcance que tendrán los

planes estratégicos de recursos hídricos de cuenca, otro reglamento respecto del monitoreo de glaciares, otro de Fondos de Innovación en temas de recurso hídrico entre otros (Figura B5).



Figura B5

Esta primera etapa de implementación dura doce meses, pero ahí hay ciertas cosas que van a requerir más tiempo para su implementación, alguna hasta cinco años, pero lo esencial del Código se implementa en el primer año desde su promulgación, así que también estamos creciendo o haciendo una solicitud de revisión de dotación de la DGA, principalmente buscando crecer hacia regiones que es donde tenemos que dar mayor cobertura (Figura B6).

ESTADO ACTUAL DE IMPLEMENTACIÓN
NUEVO CÓDIGO DE AGUAS

Ije tutoridigios

Consumo humanos, sare assientos y subostencia fisculliación, coreservación prirección sistemas de información cualdi minimo ceológico Cambio de suo Concesión o ejerció DAA.
Detes e información
Ogenizaciónes de tidustrion de considerado de considera

Figura B6

Estamos trabajando en los artículos específicos con respecto a la gestión de sequía o decretos de escasez hídrica. Hoy día estamos revisando los criterios de severa sequía; antiguamente en el Código se hablaba de extrema sequía, con ciertas consideraciones hidrológicas de precipitación

a los que estamos incorporando nuevas consideraciones, en términos de la situación de los embalses. A veces un año hidrológico puede que no sea tan duro, pero igual no vamos a poder hacer la abstracción de que tuvimos doce años súper duros. En esas situaciones tenemos un efecto acumulativo en nuestros caudales que va a seguir siendo reflejado probablemente, también en los niveles de las aguas de los pozos, que reflejan lo almacenado en nuestros embalses subterráneos.

El artículo 5, abordar como se asigna y prioriza el uso del agua, mientras que por su parte el artículo 314 tiene relación con la situación de sequía; cómo se declaran, cuáles son los criterios y aquí vienen los temas más importantes que antes estaban en un marco general que era cómo hacer una redistribución de aguas. Hoy día el Código establece específicamente que existiendo un decreto de escasez hídrica hay un plazo para presentar los acuerdos; la DGA tiene que solicitarlos a la Junta de Vigilancia, los que participan de esta Junta o varias Juntas dependiendo de la cuenca, tienen 15 días para presentar ese acuerdo y el acuerdo tiene que tener como objetivo asegurar el consumo humano, considerando tanto ciudades como para APR, que también es otro tema importante dentro del Código. Los decretos anteriores al nuevo Código duraban seis meses, ahora pueden tener una vigencia de hasta un año, prorrogable; es una condición también nueva para poder hacer una gestión de mediano plazo (Figura B7).

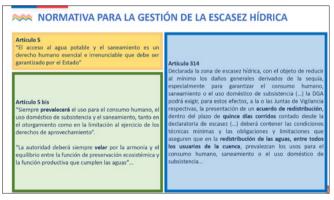


Figura B7

Entonces tenemos hoy acuerdos de redistribución o redistribución como una herramienta que formalmente estaba reconocida antes, pero hoy día vamos a establecer las condiciones técnicas para asegurar que haya efectivamente una redistribución en función de las acciones, de lo que está

formalmente enrolado e informado a la DGA, así como el aseguramiento del derecho humano del acceso al agua.

La declaración de Severa Sequía, con los criterios técnicos que se están revisando que va a incorporar además de precipitaciones, caudales, temas de cómo está la situación de embalses y también cómo pueden estar las situaciones de algunos acuíferos o los pozos que sustentan el suministro para consumo humano.

En la época de Severa Sequía se pueden solicitar autorizaciones temporales, sobre la base de los derechos de agua que no se pueden ejercer o se pueden ejercer parcialmente, para utilizar agua de la misma fuente, superficial o subterránea y suplir parte de eso. Siempre en la lógica del nuevo código, que es mitigar los efectos de la sequía, y para abastecer preferentemente a la población, los APR, usos de subsistencia, entendiendo por subsistencia el consumo de una casa, el hogar en zonas rurales más sus animales y sus cultivos, eso tiene una priorización. Pero otros usos, efectivamente requerirán ser más eficientes y restrictivos dada la merma de las captaciones de agua en sus fuentes de origen, no es sostenible en el tiempo que si no tengo agua del río ahora entonces voy y la extraigo del acuífero, eso es cambiar la fuente, pero no es restringir, reducir, ni priorizar, es simplemente cambiar de dónde voy a obtener el agua. Lo que buscan estas autorizaciones temporales es darle una racionalidad a la autorización y que también sean situaciones extremas (Figura B8).

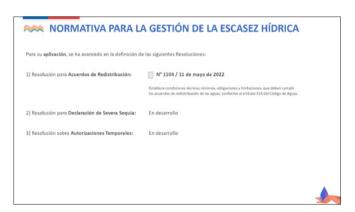


Figura B8

Una de las cosas que hemos recogido en terreno, y que probablemente uno también ve en las noticias es que hay mucha presión, sobre todo en el mundo rural por las situaciones de sequía que hay en la zona norte y centro sur del país. La gente, en general entiende que no hay agua, lo que la gente no acepta es que esa agua se distribuya mal o que no sea clara la distribución, por eso cuando definimos los conceptos, los contenidos técnicos mínimos para hacer los acuerdos, es buscar esa claridad en la distribución, la prorrata se hace en función del caudal que viene y el que se proyecta, todavía no hemos comenzado el invierno y todavía no tenemos una temporada de lluvias propiamente tal, los caudales siguen bajando, entonces qué hacer con algún nivel de proyección con lo que tenemos de agua ¿cuánto va a venir?, ¿cuáles van a ser las reglas de operación?, ¿cuáles son los puntos de monitoreo, distintos a los de la de DGA?, porque también la Junta de Vigilancia puede establecer más aforos, tienen otras Estaciones de Control de Caudales, incluso tienen bocatomas que cuentan con información en línea. Depende de la Junta de Vigilancia el nivel de tecnología que tiene disponible, la ubicación geográfica, las curvas de descarga, la indicación de las prorratas también de aguas subterránea. Esto es algo que requiere reforzamiento en relación al Código de Aguas, las Juntas de Vigilancia tienen atribuciones tanto superficiales como subterráneas, en la práctica siempre se hicieron desde el punto de vista de los ríos y los esteros, pero mientras no estén constituidas las organizaciones de aguas, las comunidades de aguas subterráneas también pueden ejercerla sobre el acuífero.

Estamos también con un plan de trabajo en nuestro Departamento de Organización de Usuarios, para hacer ese desarrollo, esa formación de las comunidades en aguas subterráneas, hoy día existen Juntas de Vigilancia que deben hacer gestión sobre los acuíferos.

También se debe informar oportuna y correctamente, con información fehaciente, si ciertas medidas específicas pueden afectar el consumo humano, porque podría solicitarse una medida en canales que podrían estar alimentando agua potable rural que no tengamos identificados, por lo tanto, es importante que ellos lo hagan saber. Es importante la obligación de informar a la DGA, los registros, los comuneros, los directores, los jueces de agua, porque al final es con los que uno en el día a día está implementando la redistribución de agua o la supervigilancia de las labores de las Juntas y comunidades de aguas.

El año pasado o la temporada pasada hubo acuerdos de distribución de agua de distintas Juntas de Vigilancia entre las regiones de Coquimbo y O'Higgins. Sin embargo, la única que aparece en la prensa es la de Aconcagua, porque fue una redistribución ordenada por la DGA, para asegurar el consumo del abastecimiento de agua en Valparaíso y algunas ciudades aledañas. Pero hubo acuerdos en estas tres regiones en la cuales los comuneros, las Juntas de Vigilancia implementan una alianza para restringir su uso y prorratearse el agua o sea, estamos en presencia de un esfuerzo de muchos usuarios, pero han pasado varios años en que ellos ya están conviviendo con sus restricciones, lo único que estamos haciendo ahora con esta instrucción de las condiciones técnicas que sea más transparente y cuando se hagan las denuncias tener toda la información de que el agua se está repartiendo como corresponde. En aquellos casos en que no se cumplen los acuerdos, la DGA tiene todas las atribuciones para hacer los procesos de fiscalización y sanción que corresponda (Figura B9).

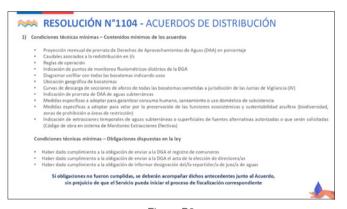


Figura B9

Hay cosas que son clave en esto, en el punto dos, el tercer bullet tiene que ver con el monitoreo efectivo de la extracción de aguas. Hoy día hay un déficit, hay muchos usuarios que no están al día con su conexión en línea o su reporte de extracción, eso afecta obviamente el balance de agua efectivo en línea y es parte de lo que se va a reforzar en este primer año, de que estén conectados todos los que deben estar. Y el otro tema importante tiene que ver con los derechos de agua que no son permanentes, sino que eventuales, que algunas veces se trataba de argumentar que esos derechos también eran parte de lo que había que redistribuir y obviamente que si estamos en sequía lo eventual no existen o no es parte de lo que se redistribuye (Figura B10).

Entonces, hoy ¿qué tenemos? Un procedimiento que establece cuáles son los contenidos técnicos que tienen que tener los acuerdos, hay un plazo que quedó establecido por ley que son 15 días. Ese plazo se puede extender hasta 8

días, si hay una justificación técnica para establecer cómo va a ser la prorrata y tener toda la información disponible en caso de que no se presente el acuerdo, o después no se cumpla, la DGA puede igualmente instruir una redistribución de aguas, son medidas extremas, pero también se puede hacer y obviamente igual esa redistribución con cargo a la Junta de Vigilancia. El año pasado cuando estuvimos trabajando en Aconcagua desde fines de agosto hasta mitad de noviembre, implicó que toda la oficina regional de la DGA de Valparaíso (Quillota) se volcó a trabajar supervisando la operación del río Aconcagua 24/7. Se complementó con equipo desde nivel central también, porque tienen que controlar 24/7 todas las bocatomas, ver todas las Estaciones de caudales, estar con equipos de aforo, ver si hay compuertas que están abiertas o cerradas, según los horarios dan las instrucciones, esperar que se abran compuertas, eso lleva toda una logística, un gasto que el Estado tiene que asumir para contener la redistribución de aguas. Pero obviamente eso se produjo a raíz de que no se implementó un acuerdo, ahora el Código establece que ese costo debe ser asumido por la Junta de Vigilancia respectiva (Figura B11).

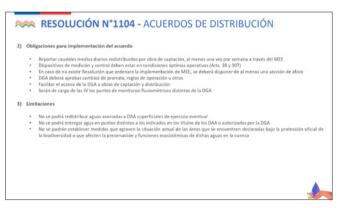


Figura B10

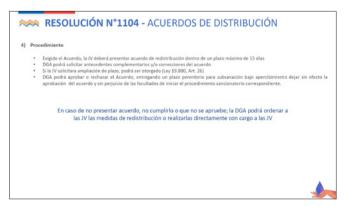


Figura B11

Vamos a ver en particular el caso del río Aconcagua. Históricamente ha tenido un desafío desde el siglo XIX, de cómo se distribuían sus aguas, ya en el 1870 tenían los primeros desencuentros entre las distintas secciones respecto del uso de aguas, antes de que tuviéramos este Código; eso siguió en 1872 donde se hizo una ordenanza de redistribución de aguas, el río se dividió finalmente en dos secciones en esa época; en 1910 hubo un recurso de protección de agricultores de Quillota, Limache, que hoy día son prácticamente la tercera sección en contra de los usuarios de los Andes, San Felipe, Putaendo que es la parte alta, para fijar una distribución y prorrateo de aguas en el río bajo el argumento que existía una sola unidad como un mismo cauce. No se acogió lo solicitado y hoy día tenemos un río que está con cuatro secciones, tres que operan en la práctica una cuarta que no está formalmente constituida. Pero esto da cuenta que, además, tenemos ciertas problemáticas en nuestras cuencas que son históricas. Se junta el desafío de la sequía, un cambio de regulación, pero también hay que hacerse cargo de la historia. Entonces es como un dato que a veces se olvida: que hay cosas que han pasado por mucho tiempo y no las hemos resuelto, probablemente ahora hay más herramientas tecnológicas, también hay otro contexto regulatorio y me permito traer esto a colación cómo va a ser un reflejo de lo que somos y que a veces se nos van olvidando las cosas. Hoy día tenemos, que el Aconcagua está con una solicitud de acuerdo de distribución (Figura B12).



Figura B12

Tenemos tres decretos de escasez vigente en la provincia de San Antonio, San Felipe, Los Andes, Quillota, Marga Marga, todos están con vigencia hasta septiembre. Cuando partieron los decretos en marzo, se dio la solicitud de asegurar el agua para distintas plantas de tratamiento de consumo humano que están a lo largo de la Cuenca, que son las que están en San Felipe, Las Vegas, Calera, con caudales específicos. Avanzó el tiempo, el agua que habíamos dejado de almacenada en el Embalse los Aromos empieza a bajar, el invierno no ha ido cumpliendo, no está ni cercano, a tener la expectativa de un invierno relativamente normal y por lo tanto, existiendo decreto de escasez, se solicita el acuerdo de distribución de aguas para asegurar el abastecimiento para consumo humano, ya que es lo que establece la ley con un plazo perentorio el cual se puede extender (Figura B13).



Figura B13

Hoy somos parte de la Mesa del Agua del Aconcagua, se ha solicitado el acuerdo, y las Juntas de Vigilancia está trabajando, pero no están trabajando desde hace 15 días, este trabajo viene desde el verano, no se ha logrado asentar un Acuerdo de Distribución de Aguas, por eso ya se formaliza en esta solicitud de acuerdo a lo que establece el Código y hoy día la Mesa Aconcagua está siendo liderado por el Gobierno Regional, los servicios técnicos del Estado en temas de agua participan de esa mesa, también las Seremías de Agricultura y del MOP, están los organismo DGA, DOH, SISS, INDAP y CNR; participan las Juntas de Vigilancia con su directorio o representantes que tiene para estas instancias, ESVAL como sanitaria con derechos de aguas es parte de estas juntas. El acuerdo de distribución para el abastecimiento del gran Valparaíso, con una población ya cercana al millón de habitantes tiene como objetivo asegurar el abastecimiento hasta marzo-abril 2023. Obviamente que si hay un invierno más generoso que él año pasado esa redistribución se puede flexibilizar, será menos exigente, pero ese es el escenario en que estamos hoy día en la zona del Aconcagua. Lo que se busca es partir lo antes posible de manera que el caudal que se

vaya a derivar hacia el embalse Los aromos sea gradual; si esperamos la primavera, no tenemos conocimiento de cómo va a ser nuestra temporada invernal, por lo tanto, mientras antes se empiece se puede hacer de una mejor manera y menor efecto, porque igual se genera un efecto en la Cuenca al redistribuir esta agua. En eso están trabajando las Juntas de vigilancia y ESVAL, no es fácil lograr un acuerdo porque tiene dos variables, hoy día podría partir con una propuesta que inicie ahora en junio y llegar hasta marzo y tener un caudal permanente que permita este aseguramiento de suministro para Valparaíso o establecer, vamos a destinar un volumen de agua para seguridad de ese abastecimiento que hoy ya está en torno a los 22 millones de metros cúbicos, se llega a los 22 millones de metros cúbicos y no se envía más agua al embalse. Tenemos esos dos extremos y ahí esperamos que en los próximos días eso se logre plasmar en un documento. Esa es la situación del Aconcagua.

Otra situación que quería compartir con ustedes es la situación en Choapa. Estamos en una situación similar, Choapa es de las cuencas más golpeadas en la región de Coquimbo, está mucho más afectada por la sequía que la de Valparaíso y la Región Metropolitana. Choapa es una de las cuencas que está con mucha presión por el déficit de agua y aquí la Junta de Vigilancia no estaba distribuyendo el agua de toda la Cuenca solamente de un sector, entonces qué es lo que reclaman las comunidades, para transmitirles a ustedes el contexto, es: ¿por qué toda el agua de la Cuenca no se reparte entre todos los usuarios de la Cuenca? Hay una empresa minera que está arriba y ellos captan agua y después de esa empresa empieza el prorrateo. Entonces qué lo que se pidió a la DGA, es la revisión de todos los derechos de aguas que tiene la Junta de Vigilancia, cuál es la forma en que está haciendo la distribución de las aguas, también a la empresa minera se le pidió la misma información todos sus derechos de agua, todos sus convenios, todos los contratos; a veces hay más agua comprometida de la que uno ve de manera tradicional, hay acuerdos, traspasos, la Junta de Vigilancia también administran todas las formas en que distribuyen el agua. Eso le genera desconfianza a las personas, que no conocen qué están haciendo y no está todo en línea, la legítima duda, por qué no me llega agua si yo sé que hay algunos que tienen agua 24 horas 7 días a la semana, eso va generando un problema, así que nosotros, Choapa, estamos trabajando con mucho detalle para conocer bien cómo va a ser esta prorrata en el caso de que se requiera, pero la situación de Aconcagua yo creo que es una Cuenca que se conoce muy bien, hay bastante información y el desafío siempre va a ser en cómo los usuarios se ponen de acuerdo; hay un marco que nos obliga la ley que hay que asegurar el consumo humano la subsistencia sobre todo lo que también vamos al APR, que vive en una realidad que está muy dependiente hoy día del nivel de los acuíferos, que sus pozos no queden colgados, entonces es ése el sistema que está cambiando en términos de disponibilidad, pero también cambió en términos de cómo la regulación da una prioridad (Figura B14).

Muchas gracias.



Figura B14

Al término de la Conferencia, los Sres. Garreaud y Núñez respondieron consultas y comentarios de los asistentes. A continuación, reproducimos lo más relevante de estas intervenciones.

Sr. Pedro Sanzana.

—A partir de la gráfica de la lluvia acumulada, considerando la segmentación seco, normal, lluvioso ¿qué criterio desde el punto de vista meteorológico utilizan y si se ha cambiado en los últimos años?

Sr. René Garreaud.

—En general, en Meteorología tú siempre vas a tener unos años con más, unos años con menos así es que en general nosotros tomamos la anomalía si es un año seco de un déficit de 20% o más, esa es la segmentación. Algunas veces uno

puede ser más estricto y ocupamos el 25%. Ahora Chile, con su gran diversidad climática, nos produce un problema porque en realidad en la zona centro norte uno tiene porcentajes de variación muy altos, es fácil tener 100% de superávit o 80% de déficit, así es que hemos estado progresando a estos índices estandarizados de precipitación, el famoso SPI y cosas de ese tipo. En general ocupamos ese índice, uno lo puede calcular cada mes, pero aprovechándonos de nuestra mediterraneidad con esta realidad tan marcada, usualmente nos colocamos en diciembre y tomamos el SPI de 12 meses y ese índice el SPI, que el fondo de ajustar una distribución de frecuencia a la serie observada, tiene valores prefijados y justamente como es estandarizado una sequía moderada, intensa, extrema está ya predefinida. Para Chile es particularmente importante como decía Cristian el trabajo desde Arica a Magallanes; pero en particular acá en la zona central, La Serena con 70 mm de precipitaciones es muy distinto a Concepción con 1.100 mm de precipitación, así que típicamente 20%, 25% con anomalías de precipitación.

Sra. Angélica Casanova.

—¿Cómo se relacionan estos eventos con los ríos atmosféricos, los cuales también se generan en el Pacífico?

Sr. René Garreaud.

—Ese es otro tema interesante, los ríos atmosféricos siempre han existido por supuesto y es la banda de humedad delante del frente y que finalmente produce la precipitación, son hasta cierto punto indistinguible del sistema frontal la baja presión. Efectivamente la mayoría de los frentes tienen río y por supuesto, uno quiere que el río tenga ciertas características largo, intenso, etcétera, pero no todos los frentes lo tienen.

Lo que es más interesante, es que hay algunos casos, con una tremenda baja presión que con un frente bien definido y que produce precipitaciones y nieve en la cordillera. Algunas veces los ríos son super zonales, en el sentido de que son casi latitud constante no se ve una relación tan directa con una baja presión y esos son los ríos que hacen que llueva con isoterma muy elevado. Ya me estoy saliendo un poco del tema de las charlas, pero es verdad de que uno tiene que, especialmente en la zona central y en la zona centro sur, incluso en un contexto de sequía, llegan unos

5 o 6 ríos bien intensos por año y puede haber problemas. Hemos visto recientemente en la región de Aysén, en la región de Los Lagos en la región de Los Ríos, valga la redundancia con el nombre del río atmosférico, así que son parte de la familia de lo que hablamos de los frentes y los sistemas frontales, pero algunos son particularmente especiales estos ríos zonales con altas temperaturas y alta precipitación, ahora tenemos el anticiclón súper fuerte, lamentablemente eso no permite pasar nada, ni ríos ni frente, ninguna cosa.

Sr. Sebastián Bernstein.

—Quedó planteado entonces que el cambio climático representa una parte 30%, 40% de la mega sequía actual, el resto provendría de elementos tales como la oscilación decadal del Pacífico y/o Oscilación Antártica ¿Qué ciclos tienen estos fenómenos? y ¿Puedes hacer una brevísima explicación de en qué consisten?

Sr. René Garreaud.

—Bueno, parte de la pregunta es parte de la respuesta. Hay un contexto de largo plazo que ya partió hace muchos años atrás y que va a seguir acompañándonos durante todo el siglo y que es el cambio climático y, de hecho, el cambio climático se manifiesta en esa tendencia como se mencionó y no vamos a hacer ningún análisis demasiado exhaustivo ahora, pero se mencionó la oscilación antártica. Si bien es cierto esa oscilación tiene variaciones de alta frecuencia que son naturales, la tendencia a largo plazo es debido al cambio climático, así que son medios indistinguibles, por otra parte, también hay una cosa que se llama la oscilación decadal del Pacífico, que es como el hermano o hermana mayor del Niño y la Niña. Es cierto que tiene formas espaciales parecidas, pero que tiene ciclos muy rápidos alternancia de un año a otro, pero también ve, por ejemplo, como entre los años 50 y los años 70 pasamos por un bajón de precipitaciones no tan pronunciado, por eso a ése sí que no le podemos echar la culpa del cambio climático y eso fue porque esta PDO la oscilación de Decadal del Pacífico estaba en su fase fría, que es como la Niña y que lamentablemente lo que hace es reforzar el anticiclón. Hay muchos fenómenos que refuerzan el anticiclón, la Niña con la PDO en su fase fría y de alguna manera la oscilación antártica, de esos 3 elementos al menos la oscilación antártica va de la mano con el cambio climático y lo otro son naturales y los de largo plazo, es como lo dice su nombre la oscilación de Decadal del Pacífico uno puede tener fases de 10 años, 15 años, ese es como el período típico son pequeñitas, pero empujan la balanza hacia cierto lado.

Sr. Eduardo Rubio.

—Nos puede comentar si hay información sobre las causas de la intensificación o aparición de esta Mancha del Pacífico subtropical. Pareciera ser otra sensibilidad adicional a tener en cuenta en términos de una dependencia climática por así decirlo.

Sr. René Garreaud.

-Claro, dedicamos buena parte de los últimos años a tratar de entender eso, porque cuando partimos yo me acuerdo que cuando le pusimos mega sequía a la mega sequía fue el año 2013 o 2014, ya no parecía larga y partió razonable en el sentido de que el año 2010 fue un año a la Niña bien fuerte. Para nosotros siempre el paradigma y el marco que trabajamos era que el Niño y la Niña son lo más importante. Por supuesto hoy, tal como lo mencione antes la PDO también aparecía y efectivamente la PDO estaba en su fase negativa, pero incluso ha tenido cambios de signo, entonces todo eso no nos llevó a pensar en un mecanismo adicional, de alguna manera por supuesto no es un argumento demasiado fuerte de que esta Mancha haya aparecido el año 2010 y también haya empezado la mega sequía porque además tuvimos un terremoto en 2010, así que no se trata de juntar así no más las cosas, pero parecía sugerente. Entonces, por una parte, está constatado de que esa zona se ha calentado mucho en los últimos 10 años y con experimentos numéricos hemos mostrado de que efectivamente si uno coloca esa Mancha en un modelo y en varios modelos lo hicimos para estar bien seguros, efectivamente tiende a llevarse el clima de Chile central hacia esta condición más seca y tenemos un par de trabajos sobre eso. Una cosa distinta después es que establecimos que la Mancha Cálida era un nuevo factor que no había emergido antes porque ahora aparece en el hidroclima de Chile y después viene la pregunta de cuánto de esa Mancha Cálida está relacionada con factores naturales porque el océano está muy proclive a tener estas oscilaciones de períodos más largos. Cuando a uno le pregunta a los modelos, estos muestran que en esa zona del Pacífico también se ha calentado, pero nuevamente no se ha calentado tanto, puede ser por una deficiencia de los modelos, es verdad, puede ser sencillamente porque esa diferencia es porque en buena parte es variabilidad natural, así que seguimos investigando. Por ahora sabemos que la Mancha Cálida es importante por lo que nos dicen los modelos, por ahora, es que tiene nuevamente una componente importante que es natural y ahí hacemos el nexo con esta mantención de la mega sequía por factores naturales. Insisto, suena como bien esotérico esto de la Mancha Cálida, pero tiene la implicancia de que nos permite ver y nos puede decir algo respecto a este futuro intermedio. Ahora hay que moverse mirando las vulnerabilidades actuales, las vulnerabilidades muy a futuro, pero los próximos 10, 20 años me parece que son críticos para cualquier obra de las que mencionaba, por ejemplo, nuestras soluciones tecnológicas, así que creemos que es una es una cosa científica, pero que tiene importancia práctica relevante.

Sr. Javier García.

—¿Existe algún registro paleoclimático con una sequía similar a la que estamos experimentando?

Sra. Raquel Alfaro.

—¿Se puede controlar la sequía, por ejemplo, con control de emisiones?

Sr. René Garreaud.

—Estos colegas que se dedican a la paleoclimatología miran el clima en el pasado especialmente con los anillos de los árboles, en que tenemos registro de más de 400 o 500 años de duración además que con resolución anual. Entonces uno le puede preguntar y los árboles son particularmente sensibles a la sequía, de hecho, ahí en la página CRDO o hay una cosa que se llama el Atlas de la sequía de Sudamérica SADA por su acrónimo en inglés y uno tiene valores de reconstrucciones, hay registros en base a anillos de árboles que se pueden consultar en esta cosa que se llama SADA, que está en www.CRDO. Pero para responder directamente, sí, uno le puede preguntar a los anillos por año de sequía y si, uno encuentra sequías muy intensas, algunas que tienen buen match con los

registros históricos, me refiero a las crónicas de la colonia, por ejemplo. Y ¿hay sequía extensa?, sí hay sequías extensas de 5 o 7 años, no hemos encontrado una sequía tan larga en estos 500 años como la que tenemos ahora, están al límite. Ahora, démosle el beneficio de que son reconstrucciones más que datos directos, así que también hay que mirarlo de esa forma.

Insisto, cuando uno dice que la sequía lleva 13 años, es la primera en el registro histórico es un registro de 100 años así que es muy bueno compararse con un registro mayor y diría que estamos en el límite, tenemos sequía que han durado 8, 9 años en este registro palio climático y, por lo tanto, ya con 13 años empieza a salirse del rango de variabilidad natural y eso enfatiza de que hay un factor natural, probablemente de gran escala. También hay una condicionante antropogénica que nos lleva a eso.

Respecto a la otra pregunta, con el cambio climático llevamos un siglo, algunas personas no se han dado cuenta, pero llevamos como un siglo y de hecho la tierra se ha calentado 1,1° y claro, estamos muy asustados con el 1,5 y estamos en 1,1. Ahora, en mi perspectiva, las emisiones van a continuar y nos tenemos que adaptar, pero también la mitigación es importante, porque efectivamente se define mucho sí bien es cierto vamos a este mundo más cálido y más húmedo en general, Chile se lleva lamentablemente la parte seca, pero en general va a ser un mundo más húmedo, cosa de mirar lo que pasa en Argentina. Pero la magnitud de esos cambios obviamente escala con cuanto emitamos y de nuevo eso es un mensaje importante, porque suena como medio terrible y que ya está escrito en piedra y lo que realmente ocurre es que es muy claro el consenso de lo que va a pasar, pero el grado y ustedes saben que eso es muy importante, distinto tener una sequía de 20% a tener una sequía como estamos hablando del 50% al 60%. Así que yo creo que especialmente con los colegas en distintas instituciones, pero en particular en la DGA uno tiene que ir hacia la adaptación, la información es vital, pero los esfuerzos de mitigación siguen siendo tan o más importante que nunca.

Sr. Carlos Bopp.

—Si la solución a la escasez del agua en el país, actual y proyectada, es la construcción de embalses y tranques que ralenticen el flujo de agua existente hacia el mar, esto nos daría más tiempo para extraer agua dulce y posiblemente recuperar las napas subterráneas, mejorando la condición de la flora, fauna y de las personas que cuentan con pozos. Me adelanto a la posible respuesta de la paradoja de Gevons que de alguna forma niega la posibilidad de entregar medicina a un paciente enfermo porque tendrá más stock de salud ¿hay otro motivo de por qué no es la solución la construcción de embalses?

Sr. Cristian Nuñez.

—No es tan claro que la construcción de embalses sea la solución, pero en realidad este tema de la mega sequía o del cambio climático también ha hecho replantear el tamaño de los embalses. Hay una cartera de embalses que se está revisando entre distintos Ministerios porque hoy día los embalses de la zona al norte de La Serena están prácticamente todos secos. Están con valores de entre 4% o 5% de almacenamiento; los únicos embalses que hoy día tiene agua son los de la sexta región, por el temporal que hubo en agosto del año pasado y que fue muy bueno entre la sexta y la séptima región, los dejó con buenos niveles. En el caso del Maipo, el Yeso está con un buen nivel en atención a un acuerdo que hay entre la Junta de Vigilancia del río Maipo y Aguas Andinas, entonces, con esto lo que quiero transmitir es que en realidad probablemente se necesiten embalses, pero hay que revisar de qué tamaño, se está hablando hoy día más bien de pequeño y mediano embalse, más que de los tradicionales que eran más grandes interanuales, porque no nos está dando la pluviometría o la fluviometría para generar una mayor regulación, creo que va a haber que hacer ahí una revisión. Pero creo que esto va en una solución conjunta que es lo que se está analizando, pero ahí también está la otra pregunta de las plantas desaladora, creo que hoy día hay que replantear y usar e ir a buscar cada gota de agua, yo lo plantearía así; hay que ir a buscar el agua en términos de lo que usamos en las casas, ahorrar todo lo que se puede, aunque suene muy básico, pero en realidad empieza a sumar agua. Hay otro planteamiento que habla de la eficiencia de las ciudades, en la medida en que las ciudades consumen menos van dejando disponible esa agua para los usos tradicionales que puede hacer la agricultura por ejemplo o uso ambiental, entonces creo que construir más embalses probablemente es necesario, pero lo que se está revisando también es qué tipo de embalses.

Sr. Rodrigo Caro.

—Todos los estudios recientes tienden a enfatizar la necesidad de la gestión de los recursos hídricos, tomando como unidad las cuencas hidrográficas, la convención constitucional habla de los Consejos de Cuenca ¿cuánto está avanzando actualmente la DGA en esa dirección?

Sr. Cristian Nuñez.

-Este Comité Interministerial que les mencioné, que lo lidera el Ministerio de Medio Ambiente, busca dar soporte a estos Consejos de Cuenca; nosotros en particular, tenemos la tarea de implementar lo que establece el Código, los planes estratégicos de recursos hídricos de cuenca, que deberían dar soporte a estos Consejos, los cuales también serán un actor distinto a lo tradicional, lo que se hacía desde nivel central, dando una mirada más bien de infraestructura hidráulica para las cuencas; ahora en estos planes estratégicos se incorpora una componente fuerte, como es el cambio climático y proyectar alguno o algunos escenarios, sobre cuál va a ser la disponibilidad futura de agua, junto a la infraestructura y tecnologías que se proyecten. También hay proyectar la gestión, qué temas de potenciales desaladoras podrían ir en algunas cuencas, hasta qué lugares, cuáles son los reúsos de agua que se pueden dar. Entonces, este plan debería pasar a ser una herramienta viva para la toma de decisiones de la Cuenca. Debería ser distinto a lo que hacíamos tradicionalmente. Ahora estos planes tienen que ir con una componente de infraestructura, pero a la par con una componente fuerte en gestión y junto a eso, lo que establece también el Código, es que se pueden prorratear los derechos no necesariamente con escasez, no tiene que estar declarada la escasez hídrica, sino que ante las situaciones que hay en la Cuenca también se puede hacer una redistribución de la prorrata de los derechos.

Sr. Mauricio Zambrano.

—La resolución de la DGA 1674 de 2012, establece que esta resolución debe ser revisada en un plazo no superior a 10 años lo cual se cumple este 2022; durante esta revisión ise hará la distinción entre sequía y escasez hídrica?, ise evaluará la implementación de índices de seguridad hídrica en un contexto de cambio climático?

Sr. Cristian Nuñez.

—Cambió el nombre, antes en el Código se hablaba de extrema sequía, hoy ya se habla de severa sequía, la Resolución que va a salir va a establecer los criterios para severa sequía, creo que con eso recojo completamente la pregunta de Mauricio, esta resolución se emite próximamente.

Sr. Pedro Sanzana.

—¿El 20-21 comienza a funcionar la Planta reversible Concón-Aromos, que permite trasladar agua desde la desembocadura hasta el embalse Aromos?, ¿se pide también que la empresa sanitaria haga uso de toda su infraestructura o solo que los agricultores dejen de captar para trasladar agua gravitacionalmente?, ¿en este punto la existencia de una regla de operación optimizada para embalse Aromos también se entregará por parte del Esval? Todos estos puntos son importantes en la elaboración de los Planes Estratégicos De Recursos Hídricos (PERH).

Sr. Cristian Nuñez.

—Son varias preguntas. El tema de la tubería reversible de ESVAL es parte de lo que se solicitó como información para efectos del acuerdo la distribución de las aguas. Lo que hace ahí primero la SISS es una proyección de la empresa sanitaria de todas las fuentes que está utilizando hoy día y hace una proyección del agua que se acumula en el embalse, así como el agua que la sanitaria consumirá desde el embalse, eso a nivel diario, semanal, hasta mensual, esa proyección después es controlada. Así se controla el agua que está siendo enviada por la tubería reversible desde Concón al Embalse los Aromos y controla el agua que sale de los Aromos hacia el gran Valparaíso. Esas dos mediciones están y son permanentes durante todo este periodo y entiendo que la SISS también lo tiene como parte de la operación de la sanitaria. Ahora, para efecto de los PERH, en los planes estratégicos de recursos hídricos efectivamente podría ser parte de la solución, o parte de lo que uno podría establecer como una regla de operación de la Cuenca, pero eso podría ser parte de un acuerdo permanente, porque es lo mismo que yo mencionaba cuando contaba los dos escenarios extremos que teníamos en el acuerdo. Si existiese una coordinación a nivel de la Cuenca que de manera permanente se está enviando a los

"LA MEGA SEQUÍA EN CHILE CENTRAL" / "GESTIÓN DE ESCASEZ HÍDRICA, HERRAMIENTAS DEL NUEVO..."

Aromos o se mantiene un cierto volumen de seguridad en el embalse y se manda por la tubería reversible otro caudal, que le dé una estabilidad durante el año, eso respondería más menos a lo mismo. Se podría poner dentro del escenario del Plan Estratégico de Recursos Hídricos, si es una manera o una visión compartida por la región o la Cuenca en este caso. Pero creo que lo más importante antes de incorporarlo en el PERH, es que sea una visión del Consejo de Cuenca respectivo, sino, queda como otra

medida que uno puede modelar, la puede plantear, pero si no es asumida como parte de la solución de la gestión de los recursos de la Cuenca, no termina en nada más que ser otra simulación.

Muchas gracias.

Fin de la Conferencia.

ENTREVISTA A INGENIEROS DESTACADOS



Como una necesidad de preservar la historia de ingenieros destacados y de la Ingeniería, la Comisión de Ingenieros en la Historia Presente, dio inicio a una serie de entrevistas, con el objeto señalado.

En esta ocasión se presentan dos extractos de las entrevistas realizadas al Ingeniero José Antonio Guzmán Matta y al Ingeniero Roberto Fuenzalida González. Estas entrevistas, como las que se hagan en el futuro, serán objeto de una publicación especial.

JOSÉ ANTONIO GUZMÁN MATTA:

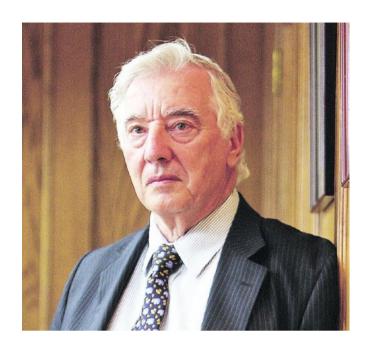
Un ingeniero emprendedor, hacedor y comprometido

En sus inicios, llegó a estudiar Ingeniería por su afición y facilidad para las matemáticas y su vocación de hacer y organizar actividades concretas y visibles, esto desde sus primeros años de colegio. Tuvo muy buenos profesores que le abrieron la mente para pensar y sacar conclusiones y luego tomar las decisiones que estimaba más adecuadas. Recuerda con especial afecto y admiración a Efraín Friedman y don Francisco Javier Domínguez. Eligió la Universidad de Chile porque en el colegio se resistía un poco al ambiente de élite y eso le empujaba a ir a un medio más diverso.

Sus primeros pasos en el mundo laboral fueron en la ingeniería eléctrica, especialidad que nunca fue de su predilección, aunque luego la comenzó a apreciar. Trabajó durante 8 años en la Compañía General de Electricidad Industrial, que le enseñó mucho, no solo en el ámbito profesional sino también en el trabajo en equipo y la importancia de las relaciones laborales.

Luego le tocó participar como administrador de una importante empresa constructora en el norte del país. Esto lo obligó a profundizar sus conocimientos técnicos y relacionarse con el mundo real de la administración pública y el sector financiero, ejecutando diversas obras de infraestructura y de vivienda. De paso le permitió fortalecer su vida familiar que se prolonga felizmente hasta el día de hoy. Luego desempeñó igual función fuera del país, en Ecuador, lo que aumentó el desafío al estar más solo y enfrentar una nueva cultura de hacer las cosas. Cuando regresó a Chile, tomó la decisión de independizarse y formar su propia empresa, junto a su socio Juan Larraín, con quien ha impulsado por más de 40 años una fructífera actividad empresarial, tanto en Chile como en el exterior, especializados en el área de la edificación de vivienda, pública y privada, y de otras áreas. Durante este período han construido, tanto para el Estado como para el mercado, más de 65.000 viviendas y cerca de 3.800.000 m² edificados, en diversas regiones del norte y centro del país.

Si de desafíos complejos se trata, el primero por orden de aparición fue incorporarse a la vida laboral, creyendo que uno lo sabe casi todo, pero en la práctica no sabe casi nada. Finalmente nos cuenta, supo comprender que la profesión y el trabajo no es todo en la vida, sino que la familia, el espíritu, la cultura y las amistades ocuparon en



él un espacio irreemplazable, acercándolo a la felicidad nos dice.

Las complejas tareas para reactivar al sector luego de la profunda crisis en que quedó sumido el año 82, lo llevaron a incrementar su compromiso con el gremio, lo que le valió ser elegido como director de la Cámara de la Cámara Chilena de la Construcción primero, y más tarde como vicepresidente, para culminar como presidente a mediados de 1989. A mediados de su segundo período como presidente de la Cámara, en septiembre de 1990, lo propusieron como candidato a presidente de la Confederación de la Producción y el Comercio (CPC), cargo en que fue elegido y asumió en diciembre de ese año. Dicha responsabilidad se prolongaría por 6 años. Su sucesor en la CPC, Walter Riesco, le solicitó asumir la presidencia del Directorio de Inacap, cargo que desempeñaría como presidente o vicepresidente por casi 16 años, que considera sean los más gratificantes de su vida profesional. Sus más de 100.000 alumnos y su sólida solvencia dan cuenta de la misión cumplida por el sector empresarial al asumir este compromiso. Simultáneamente con lo anterior, la Asociación de AFP en conjunto con Endesa España, dueños de la empresa Enersis, matriz de empresas de generación y distribución de energía eléctrica en Chile, Argentina, Brasil, Perú y Colombia, que atravesaba por algunos problemas éticos, le solicitaron asumir la presidencia del directorio, con la misión de normalizar su actividad. Bajo este mandato debió asumir también la presidencia del directorio de Endesa Chile, tradicional y prestigiosa empresa de generación de energía, y de algunas de sus filiales en el exterior. Al cabo de complejas negociaciones, antes de 2 años, Endesa España asumió el control de Enersis, con un extraordinario beneficio para los Fondos de Pensiones chilenos, que vendieron su participación a excelente precio.

También tuvo otras actividades directivas cómo, por ejemplo, la Fundación Las Rosas, Libertad y Desarrollo, el Instituto Libertad, el Club Atlético Santiago y otras ligadas a la CCHC, que le permitieron aportar algo de su experiencia a su valiosa labor.

Pues bien, luego de esta larga enumeración de sus actividades en disciplinas no directamente relacionadas con la ingeniería, piensa que no habría podido desempeñarlas sin la formación en valores y método que le imprimió la carrera de ingeniero y la capacidad de distinguir lo sustantivo de lo adjetivo y lo prioritario de lo accesorio, así como la paciencia para enfrentar la adversidad.

En su lápida funeraria le gustaría que se escribiera, con fundamento, "Hizo lo que tenía que hacer".



ROBERTO FUENZALIDA GONZÁLEZ:

Un Ingeniero para el Patrimonio del País

Roberto Fuenzalida siempre tuvo claro que iba a ser ingeniero. Estudió en el Instituto Nacional y en su familia había varios ingenieros de la Universidad de Chile. Además, en el colegio le encantaban los ramos de matemáticas, física y química. Lo inspiraron su profesor de matemáticas Alfonso Bravo, su abuelo Carlos Fuenzalida S., su padre Carlos Fuenzalida P. y sus dos primos que estudiaban en Beauchef: Patricio Martínez G. y Arnaldo González G. Por todo lo anterior su opción natural fue elegir la Universidad de Chile. Sus ramos preferidos en los primeros años de la universidad fueron álgebra, trigonometría, física y mecánica racional, y posteriormente, las asignaturas ligadas a la gestión y dirección empresarial.

Las personas que más influyeron en su actividad académica y profesional fueron Fernando Léniz C., Jorge Cauas L., Antonio Krell R., Raúl Espinoza W. y Agustín Edwards E. Inició sus actividades profesionales en la empresa periodística El Mercurio siendo todavía estudiante y tuvo la suerte de poder desarrollar una trayectoria profesional completa, desde analista de estudio a secretario general de la presidencia de esta empresa. Entre las actividades destacables en que participó, se pueden mencionar la dirección del programa de cambio tecnológico y la creación de la organización de diarios regionales de esa empresa. También en la dirección de la transformación de Letterpress



a Offset de la cadena periodística y la incorporación de la computación en los procesos gráficos en El Mercurio. Gestionó la construcción y posterior instalación de diversas plantas industriales de esa organización y participó en el diseño conceptual de la primera compañía de televisión por cable de Chile. Tuvo la oportunidad de crear la Asociación de Diarios Latinoamericanos ATDL, del Grupo de Diarios América GDA. Considera que uno de sus principales aportes al mundo de la Ingeniería fueron transformar a la empresa El Mercurio en un líder mundial en tecnología.

Hace aproximadamente 10 años, lo invitaron a dirigir la Corporación Patrimonio Cultural de Chile, situación que se mantiene hasta la fecha. Reconoce que ha sido una experiencia fascinante dado que le ha permitido participar en innumerables proyectos de apoyo a nuestro país y mostrar la potencialidad de un ingeniero liderando proyectos de Patrimonio y Cultura. Está orgullosos de haber aceptado ser director de la Corporación Patrimonio Cultural de Chile por un periodo de tres meses y permanecer en esta institución más de diez años. Nos confiesa que no le fue fácil aprender a solicitar donaciones sin vergüenza.

Desde recién salido de la universidad, siempre estuvo ligado a actividades docentes como académico en las Escuelas de Ingeniería de la Universidad de Chile, Católica de Chile, Gabriela Mistral y San Sebastián por cerca de 40 años. En Ingeniería en la Universidad de Chile fue profesor, de Física, Mecánica Racional, Proyectos, Estrategia y Contabilidad. En la Universidad Católica dictó el ramo de Proyectos, en la Universidad Gabriela Mistral también tuvo el ramo de Proyectos y en la Universidad San Sebastián fue Decano de Ingeniería.

Siempre ha contribuido con sus aportes en organizaciones a las cuales se ha integrado y que tenían historia, tales como el Instituto de Ingenieros de Chile, el Colegio de Ingenieros, la Corporación de Bienes de Capital (CBC), la Sociedad Chilena de Historia y Geografía, y varias otras. Y en las organizaciones creadas con amigos tales como la Asociación de Diarios Latinoamericanos (ATDL), el Grupo de Diarios América (GDA), y la Asociación de Ingenieros Civiles Industriales de la Universidad de Chile.

Si tuviera que definirse en pocas palabras, nos dice: feliz, contento y realizado. Nos cuenta que está muy orgulloso haber tenido una maravillosa familia. Siente que tiene una buena combinación de espíritu de competencia, ganas de hacer las cosas bien, y capacidad social, tener buenos amigos.

Para Roberto Fuenzalida en la vida uno no tiene que conformarse con resultados mediocres. Sus valores más importantes son la lealtad y la honradez. Si pudiera cambiar algo de su vida pasada, hubiese querido dedicarle más tiempo a su familia. Le gustaría ser recordado como un ingeniero que apoyó a muchas organizaciones y supo valorar la amistad.

Mirando hacia el futuro, nos dice que la ingeniería ha tenido un desarrollo increíble: de la ingeniería tradicional a las tecnologías de la información, inteligencia artificial, Big Data y tantos nuevos campos. El futuro de la ingeniería la ve compleja y desafiante.

A las nuevas generaciones les recomendaría: estudiar, estudiar y estudiar, siempre considerando a las personas. Deben ser leales con las personas, ideas, e instituciones y que no olviden que son parte de Chile.





ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Vol. 134, N° 2 - AGOSTO 2022

"Uno de los pensamientos que más ha preocupado al Instituto de Injenieros, desde su fundación, ha sido la creación de un organo que lo ponga en relación con la sociedad, a cuyos intereses trata de servir, i cada día que pasa nos hace ver más i más la necesidad que la corporación tiene de consignar en un periódico las ideas que surjan i que se elaboren en su seno, referentes a los multiplicados i variadísimos ramos de la injeniería.

En esta virtud, no porque nuestro periódico sea especialmente el órgano del Instituto, dejará de serlo también del país en general, i léjos de esto, creemos obrar en consonancia con nuestro propósito, ofreciendo sus columnas a las personas ilustradas i de buena voluntad que nos honren con el precioso continjente de ideas útiles".

(Anales del Instituto de Injenieros. Tomo 1, Año 1, 1888).

Anales del Instituto de Ingenieros Vol. 134, N° 2, agosto de 2022.

Contenido ESTIMATION OF DISPLACEMENTS IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS. APPLICATION FOR THE INSTALLATION OF 5G ANTENNAS IN CHILE. Pág. 43 Felipe Valdivia-Cortés, Jorge Carvallo Walbaum and Juan Carlos Vielma Pérez. IMPORTANCIA DEL CORTE BASAL MÍNIMO EN EL DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS. Pág. 55 Tomás Guendelman y Pedro Hidalgo. LA INDUSTRIA AZUCARERA DE GRANADA (ESPAÑA) Y SUS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS. Pág. 65 Agustín Castillo Martínez. MEDIR PARA MEJORAR: EXPERIENCIAS DEL PROGRAMA COMPITEMAS® IMPLEMENTANDO PROCESOS SOSTENIBLES PARA LAS PYMES EN LATINOAMÉRICA CON UN ENFOQUE DE INGENIERÍA. Pág. 77 Rolando Chamy y Elba Vivanco.

Editor

Raúl Uribe Sawada, Instituto de Ingenieros de Chile.

Comité Editorial

Jorge Carvallo W., Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica (ACHISINA)

Alexander Chechilnitzky Z., Asociación Interamericana de Ingeniería (AIDIS)

Hernán Alcayaga S., Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID)

Roberto Gesche S., Sociedad Chilena de Geotecnia (SOCHIGE)

Marisol Castro A., Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN)

Alonso Barraza San M., PMI Santiago Chile Chapter (PMI, Capítulo Chileno)

Raúl Benavente G., Sociedad Chilena de Educación en Ingeniería (SOCHEDI)

Los Anales del Instituto estarán dedicados a la presentación de trabajos técnicos en el área de la Ingeniería y ramas afines, para lo cual acepta colaboraciones tanto del país como del extranjero.

Se publicarán aquellos artículos que, a juicio del Comité Editorial, contribuyan al desarrollo o difusión del conocimiento, de técnicas y métodos o de aplicaciones de importancia en la Ingeniería. Artículos de índole expositiva que unifiquen resultados dispersos o que den una visión integrada de un problema o de una puesta al día de una técnica o área, serán bienvenidos. Del mismo modo, ensayos sobre temas de interés para la profesión como perspectivas educacionales, históricas o similares.

ESTIMATION OF DISPLACEMENTS IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS. APPLICATION FOR THE INSTALLATION OF 5G ANTENNAS IN CHILE

Felipe Valdivia-Cortés ¹, Jorge Carvallo Walbaum ² & Juan Carlos Vielma Pérez³

ABSTRACT

With the imminent emergence of 5G networks in the Chilean telecommunications market, it has become essential to anticipate the possible imbalances that could occur in these networks as a result of any of the earthquakes repeatedly hitting the country. For this purpose, a simplified methodology has been developed on the basis of conventional linear elastic analyses, i.e. modal spectral and time-history analysis, to estimate induced displacements for two different levels of strong ground motions based on seismic records obtained from the subduction zone. The results obtained allowed to get fairly accurate analytical expressions, formulated using a single system variable (the height of the level), so that they can be used to quickly estimate the lateral displacements of the 5G antennas that will be in network by people with no training in structural dynamics, but who will be responsible for carrying out the adjustments in the nodes of the 5G network.

¹ Ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. valdiviacortesf@gmail.com

² Master of Science in Engineering, Profesor Escuela de Ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. jorge.carvallo@pucv.cl

³ Dr. Ingeniero, Profesor Escuela de Ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. juan.vielma@pucv.cl

1. Introduction

Nowadays, mobile phones and data services are of vital importance in all areas of society for the development at all levels of use, from a personal one to the corporate one, for quick communications and for sending and/or downloading information. In Chile, as a result of a constant search for improvement, it is therefore planned to implement the new 5G network, which should be launched worldwide in 2020. This new network uses high frequency millimeter waves, which will avoid a saturation of the network. In addition, the large number of repeaters will prevent the existence of areas with no access to the network and, together with this, it will be possible to handle more connections for mobile traffic and direct the signal to the user, among other several advantages [1] and [2].

Logically, in line with these achieved or ongoing advances, it is important to deliver a stable signal throughout the day, i.e. to improve the service to users. This can be prevented by the displacements of the base of the next-generation antennas, due to the relative displacements of the stories of the structure in which they are usually installed. In order to estimate these relative displacements in buildings in Chile, the modal spectral analysis is a common code procedure used to check the interstory drifts to verify whether or not they meet the maximum value allowed by the code. Considering this, the above-mentioned analysis requires information on the complete geometry and mechanic characteristics of the structure [3].

Currently, alternative calculations have been proposed to estimate displacements or interstory drifts. In a recent study, the authors presented a formulation that estimates the maximum roof displacements of a building based on the geometry of its columns, its beams, the concrete quality, the story height and the total building weight, obtaining results comparable to those provided by the structural analysis program SAP2000, but only for four-story buildings with structural typologies used in India [4]. On the other hand, in another study, the authors estimated the interstory drifts from displacements calculated from the acceleration of the structure, achieving good results but requiring a high volume of data usually very difficult to obtain, according to the authors [5].

One of the most complete investigations was presented by [6], who recorded earthquakes data in several countries, including Chile, and compared them to estimated structure's displacements, using knowledge of the basic information on the building such as: number of stories, fundamental period and ductility. The procedure is performed by associating these parameters with certain factors called "beta" (β), so that the maximum lateral displacements produced by an earthquake can be estimated more quickly. There were subsequent investigations, such as those carried out by [7] and [8]. Aguiar [7] proposed slight adjustments to the aforementioned procedure, achieving with this comparison very good results with respect to the one computed for 3 to 6 stories reinforced concrete buildings, considering the main structural types existing in Ecuador. Scaletti [8] proposed simplifications and adjustments for certain factors proposed by the original author. These procedures are based on the linear elastic analysis of the structures and have a different purpose from that contemplated in other analyses in a non-linear range. In the case of the latter, the purpose is to evaluate the structural damage achieved both locally and globally [9] and [10].

Other researchers have evaluated different factors that affect communication, sending and receiving data. In a recent work, a target city was modeled in 3D, including people, vehicles and buildings to test the behavior of waves and determine possible problems such as path losses, reflections and dispersion [11], in [12] the authors sought to determine errors analogous to those just mentioned but with a less expensive 2D computational model. On the other hand, in [13] used an abbreviated algorithm such as the DDFFA Dynamic (Distributed Fractional Frequency Allocation) algorithm that helps to assign and optimize different frequencies. All these research works involve new possible factors that can influence the signal of different networks and particularly the one of the new 5G networks.

The location of the antennas could be a problem, since their positioning may require the analysis and evaluation of the displacements of a large number of buildings in a specific area, in order to strategically locate a high amount of points (senders and receivers) that must be evaluated to build the network [14]. This implies a very high volume of information, time and costs for the intended purpose. According to the works mentioned above, it is necessary to propose a simplified method for the estimation of the displacements of typical Chilean buildings, so that professionals who are not experts in the field of civil engineering may be able

to determine these displacements only knowing simple parameters and in a short time. To this end, a simple procedure to determine displacements of a building representative of the structures existing in Chile is proposed, incorporating the main environmental loads present in the location area.

2. Methodology

The methodology includes the selection of a building representative of the structural typologies used in Chile. Then, the building is accurately modeled, using advanced computational tools. The loads determined by current regulations, including dead and live loads, are applied to the building model, and then the environmental loads corresponding to the location of the building.

The types of analysis that allow for the calculation of the displacements of the location points of the 5G network antennas are the following:

- Modal spectral analysis
- Wind simulation analysis
- Time-history analysis using three scaled strong-ground motions

For the wind and time-history analyses, formulations for the displacements obtained for each direction of the main structure of the building are obtained that only depend on the heights at which the antennas are located.

2.1. Basic information

For the development of the model, the complete set of plans of the selected building is required. The selected building must meet the design criteria of current Chilean codes [15, 16and17]. In order to fulfill this

requirement, a high rise reinforced concrete structure using shear walls was the selected option. This building has 15 floors plus a subterranean level with a total height of 39.28 m.

2.2. Structural modeling

The building was modeled using the Revit 2019 program [18] and to do so, the original plans of the structure were used, with the units in the international system and with the pre-existing measures.

For the modeling, some particular aspects are taken into account to ensure that the model is accurately analyzed, completed and as close to reality as possible. To this end, the walls, slabs and inverted beams are modeled as shell-type elements, leaving the frame type elements exclusively for the modeling of beams, to ensure a correct coupling and meshing between inverted beams and walls. As for the supports, they were of fixed type in the base level (underground 1), but adding

perpendicular sliding supports to the walls located at the ground level, at level 0.0, to be able to simulate the lateral support provided by the soil. Finally, it is decided to define that each slab acts as a rigid diaphragm, reducing the number of nodes in the mesh and generating almost identical drifts per floor slab. The described exported model is shown in Fig. 1.

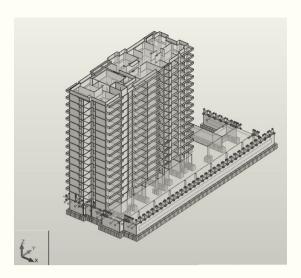


Figure 1. Model building type exported to Robot 2019. Source: The authors.

Once the model of the structure is developed using the Revit software, the model is exported to the structural software, in which the dead and live loads of the building are defined according to the Chilean code NCh1537.Of2009 [15]. For the second load type, corresponding to that of the subterranean level, a different evaluation was made: the load was therefore increased to 500 kgf /cm² and considered a uniform load over the entire slab, without taking into account the differentiated loads for warehouses and parking areas.

To avoid discarding factors a priori or missing the potential of the model, three different types of analysis, already mentioned above, are carried out, on the basis of a linear-elastic model, considering cracking in cross sections of all the elements (beams, walls and slab) using a coefficient of 0.7.



Figure 2. Typical plan view of the building with the Center of Mass (in black) and the point PTO (in white). Source: The authors.

In addition, the results will be obtained for two relevant points in each type of analysis, the first one being located at the center of mass, (coordinates: x = 8.41; y = 19.56) and the second one a point far from the center and close to a corner, hereinafter called PTO (coordinates: x = 12.44; y = 42.69). The selected points are shown in a plan view of the building (see Fig. 2). It should be noted that the displacements of a total of 16 nodes are extracted for the center of mass and another 16 for the remote point, because each node has a different node numbering.

2.3. Modal spectral analysis

This type of analysis is routinely used to obtain interstory drifts from displacements, the above procedure is applied to verify that these interstory drifts are in the expected ranges according to engineering experience and allowed by current regulations.

A modal spectral analysis is then carried out according to what is stated in NCh433.Of1996 [16] and in D.S. No. 60 and 61 [19 and 20]. In this case, with a spectrum with values corresponding to the type 2 building category (residential building), in seismic zone 3 (fifth region) and on a type B soil (very stiff soil).

2.4. Wind simulation

All existing structures are subject to environmental conditions that are proven to induce minor displacements in these structures [21]. Among these environmental conditions, the wind is one of the most influential, because of the displacements it can cause. The displacements are estimated using several available procedures and the wind simulation is one of the recognized best ways to accurately determine wind loads on structures.

The simulation is carried out according to the NCh432.Of2010 code [17]. This code provides three ways to compute wind loads: a simplified method of distributed loads in the leeward and windward directions, an analytical method that contemplates the use of factors dependent on different elements, and a method consisting in performing a simulation in a wind tunnel. For this last method, the response of the building

is evaluated under the same conditions as if it were alone in a tunnel, with an incorporated wind flow towards the structure. In this study, the third option was chosen, with the use of the Robot Structural Analysis Professional 2019 software, which generates the loads automatically, with a basic wind velocity of 35 m/s corresponding to the latitude of the location of the building in the x and v directions and with defined claddings, so as to have conditions similar to the real conditions of the building with all the existing openings closed (doors and windows in the worst case scenario). This kind of analysis is not usual in Chile, because the wind conditions are usually not higher than the conditions associated with the seismic loads. It should be noted that no claddings were used at the subterranean level because the analysis and incorporation of wind loads is carried out from the 0.0 level, since from this level the building can be exposed to the wind.

2.5. Scaled time-history analysis

To increase the range of interstory drifts obtained and to take into account the maximum values that are not usual, but probable, three Chilean strong ground motions were used to perform time-history analysis: Valparaíso earthquake (1985), Maule earthquake (2010) and Coquimbo earthquake (2015), corrected and modified to match the displacement spectrum of the seismic code [22]. For these three earthquakes, their longitudinal and transverse components in both directions of the building for a single station are used. given that it is not possible to know from which direction an earthquake is more likely to strike and that decomposing it requires a more sophisticated work and considering that the orientation of any other evaluated building will also be arbitrary. All of the above is done according to the recommendation given by ACHISINA [23] regarding the number of strong ground motions assessments that have to be performed. Finally, as suggested by [24], there are three levels of earthquake depending on the return period: "Frequent" with a low return period (about 75 years), "Rare" with a return period of approximately 500 years and "Very Rare" with a return period of approximately 2500 years. In this study, earthquakes are considered at the "Rare" level, for which there is a scale factor of 1.0, and also at the "Frequent" level, for which there is a scale factor of 0.6 [24].

The purpose of all of the above-mentioned steps is to obtain the displacements of the building at the different levels of the structure. These displacements are provided by the software after the modeling explained before. For the modal spectral analysis, an extra step known as CQC Analysis, specified in the Chilean seismic code NCh433.Of1996 [16] is required.

Additionally, for the formulations to be as generic as possible, it has been decided to carry out the transformation to make displacements the dimensionless, obtaining percentage results known as global drifts (DG). The structural analysis software was configured to deliver the displacements in millimeters; these values are therefore multiplied by 100%, and divided by the maximum height, making the respective conversion of units and getting the displacements in percentage. The above formulation is seen in equation (1), with a height value of 39.28 m, corresponding to the maximum height of the building type studied.

$$DG = \frac{Desp.100\%}{H_{max}} \tag{1}$$

Finally, values are unified for each analysis direction in order to have the minimum amount of formulations; this point will be detailed hereafter in the results section. With this procedure, the displacements can be obtained. To obtain the final displacements, the obtained value is divided by 100 and multiplied by 39.28 m. The above-mentioned procedure is carried out for each direction.

3. Results

The final formulations depend on the analyses and the results obtained for each of them. The results of the three aforementioned analyses will therefore be presented independently. They will then be compared. Finally, the final formulation will be proposed.

3.1. Modal spectral results

Before presenting the results, it is necessary to mention that for the modal spectral analysis the results obtained in the z direction will not be considered, since they show very low values and are not relevant to the development of this research. Therefore, once the CQC analysis is carried out, the displacements of the CM and PTO are plotted for each direction, called respectively spectral x and spectral y and corresponding to the spectrum in each direction. Then, only the maximum displacement values found for each direction are selected. The reason for the above is that these curves are only presented to be able to compare them visually with each other in terms of shape and magnitude.

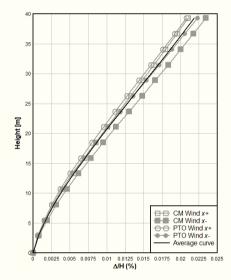


Figure 3. Displacements for the Wind Simulation Analysis in the *x* direction and average curve in the same direction. Source: The authors.

3.2. Wind simulation results

In a similar way as for the previous analysis, several displacements are obtained for the wind simulation analysis, since it is carried out for wind simulations from the positive and negative x directions (x+ and x-) and from the positive and negative y directions (y+ and y-). In addition, since the wind in both directions causes displacements of each node in the x and y directions, there are 8 displacement values in total for CM and PTO, on each story.

The resulting displacements in the *x* direction and the corresponding average curve are shown in Fig. 3. These displacements are obtained as the average of the magnitude of the displacements obtained in each respective direction of analysis. For example, for the *x* direction wind thrusts, the magnitudes or absolute values of the obtained maximum and minimum displacement values for *PTO* and *CM* are averaged to obtain the curve presented in each direction. The procedure and results for the *y* direction are analogous.

3.3. Results of time-history analysis

The procedure is similar to that of the previous case, except that in this case, the analysis consists in evaluating the accelerations of the strong ground motions of Valparaíso, Maule and Coquimbo in the *x* and *y* directions independently.

Once the maximum and minimum displacement values are obtained, an average curve is calculated for each strong ground motion in each direction. As an example, Fig. 4 shows the displacements produced by the Maule earthquake in the y direction and the corresponding average curve. The procedure is carried out for both x and y directions and for each strong ground motion. Then, the curves obtained for the three strong ground motions in both directions are averaged, to obtain the "rare earthquake" curve with a scale factor of 1.0. The displacement values obtained in this step are multiplied by 0.6 to also create the "frequent earthquake" curve. Results can be seen in Fig. 5, where the average curves for each strong ground motion and for each return period are plotted.

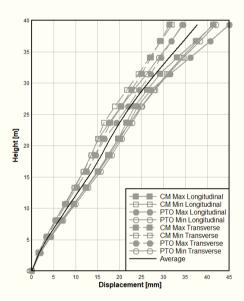


Figure 4. Displacements in the *y* direction for a Time-History Analysis carried out with the Robot 2019 software for the 2010 Maule earthquake and average curve in the same direction. Source: The authors.

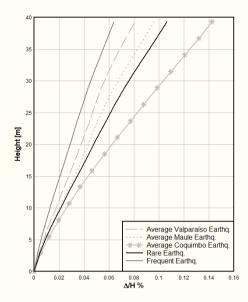


Figure 5. Average displacements for the Time-History Analysis in the *y* direction, for a frequent earthquake and a rare earthquake. Source: The authors.

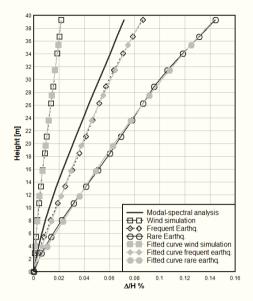


Figure 6. Displacements according to the type of analysis and correlation curves created in the *x* direction. Source: The authors.

Once the displacement vs height curves are obtained, the next step is to obtain curve fits with grade 3 polynomial approximations for the wind simulation, "frequent earthquake" and "rare earthquake". The polynomial curve fit only depends on the story height H. All these curves are shown in Fig. 6 and 7. The modal spectral analysis curve is also shown, for comparison only.

The curves shown in Fig. 6 correspond to the following polynomial curve fits in the x direction:

Curve fit for wind-induced displacements:

$$\Delta X_{Wind}(H) = -8.71672 \cdot 10^{-5} + 0.00025 \cdot H + 1.51873 \cdot 10^{-5} \cdot H^2 - 1.88500 \cdot 10^{-7} \cdot H^3$$
 (2)

Curve fit for frequent earthquake-induced displacements:

$$\Delta X_{Eqfrequent}(H) = -0.00140 + 0.00198 \cdot H - 5.88643 \cdot 10^{-6} \cdot H^2 + 3.06136 \cdot 10^{-7} \cdot H^3$$
(3)

Curve fit for rare earthquake-induced displacements:

$$\Delta X_{Egrare}(H) = -0.00234 + 0.00330 \cdot H - 9.81071 \cdot 10^{-6} \cdot H^2 + 5.10226 \cdot 10^{-7} \cdot H^3$$
(4)

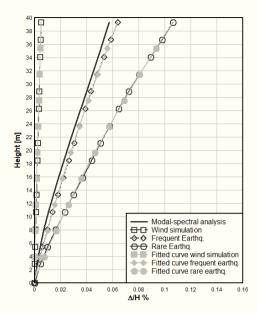


Figure 7. Displacements according to the type of analysis and correlation curves created in the y direction. Source: The authors.

The equations corresponding to the fitted curves for the *y* direction shown in Fig. 7 are the following starting with the wind simulation displacements:

$$\Delta Y_{Wind}(H) = -1.90400 \cdot 10^{-5} + 5.75081 \cdot 10^{-5} \cdot H + 3.80659 \cdot 10^{-6} \cdot H^2 - 5.30816 \cdot 10^{-8} \cdot H^3$$
(5)

Curve fit for frequent earthquake-induced displacements:

$$\Delta Y_{Eafrequent}(H) = -0.00062 + 0.00125 \cdot H + 1.01636 \cdot 10^{-5} \cdot H^2 - 4.77010 \cdot 10^{-9} \cdot H^3$$
(6)

Curve fit for rare earthquake-induced displacements:

$$\Delta Y_{Egrave}(H) = -0.00103 + 0.00208 \cdot H + 1.69394 \cdot 10^{-5} \cdot H^2 - 7.95016 \cdot 10^{-9} \cdot H^3$$
(7)

It should be remembered that, although the height of the building "H" must be entered in meters to obtain the displacements for each formulation, the result will be dimensionless and the unit of measurement will be obtained by dividing the value by 100 and multiplying it by 39,28 m.

Another important feature is the importance of the structural axes. In Fig. 2, the caption shows the axes

with respect to the model. It can be seen that, the *y* direction is the strong direction, which is relevant when trying to obtain displacements with this procedure in a similar building. As a matter of fact, the *x* direction will then be the direction in which the building is less stiff (weak structural direction), so the values of the stories displacements will be higher than in the strong structural direction.

3.4. Curves adjustment verification

Finally, in order to verify the adjustment of the fitted curves, the correlation coefficients obtained with respect to the original curves are presented in Table 1. The correlation coefficient takes values ranging from 1 to 1. The closer the value of the coefficient is to one.

the better the adjustment. For all the proposed formulations, the adjustment is very close to one, corroborating a good fit for the results obtained with the curve formulations.

Table 1. Correlation coefficients for the obtained formulations. Source: The authors

Case	Direction	Correlation coefficient
Wind	X	0,999976293
Frequent earthquake	X	0,999498325
Rare earthquake	X	0,999498325
Wind	у	0,999972253
Frequent earthquake	у	0,999863369
Rare earthquake	у	0,999863369

4. Concluding remarks

It should be remembered that the purpose of this research work is not to design any structure and therefore evaluate whether it will resist the e

arthquake or not, but only to estimate the possible displacements in the structure as a result of the action of the main environmental loads. By obtaining representative values of lateral displacements, it is possible to evaluate the effect on 5G networks in Chile.

Regarding the formulations, although the end user can opt for the most appropriate one to estimate how the displacement affects the operation of the 5G antennas, the general guidelines for the three independently evaluated cases in each direction and for a use in the same direction are explained below. For a daily use level, displacements close to those estimated with formulations (2) and (5) and corresponding to those induced by the effect of wind should be considered, but since Chile is not particularly subject to high winds, the

wind-induced displacement values are low and it is unlikely that they will significantly influence the signal of the antennas. As for the formulations (3) and (6), corresponding to a frequent earthquake, displacement values become much higher than the ones mentioned earlier, and since Chile is a remarkably seismic country, the antennas should be able to support them without the need for arrangements or recalibrations, although with possible signal loss or reduction until shortly after the end of the earthquake. Finally, the formulations (4) and (7) corresponding to a rare earthquake imply major displacements, caused by an earthquake with a longer return period. These displacements should therefore be considered as displacements that could cause problems or failures in some antennas. It should however always be possible to repair the antennas so that they can be operational again as quickly as possible, thus avoiding spending too much time and money.

In addition, it should be considered that, in the most critical case, the maximum displacement could be twice as the one estimated by the formulations: as a matter of fact, since the displacements of each building have their own particularities, a situation may occur in which two buildings with antennas move with a lag in such a way that, at the point of maximum distance between the buildings, the distance between their antennas reaches a maximum of approximately twice the distance estimated by the formulations, causing signal loss.

Regarding the range of usefulness of the formulations, these are relevant for reinforced concrete buildings, built using shear walls (the most used typology in Chile) and with a maximum height of 40 m. For greater heights, it is advisable to delve into the methodology used or perform special studies.

Besides, one of the prospects for the future would be to continue with this methodology, including the

evaluation of more buildings in more extreme areas of the country, to strengthen the results and increase the amount of displacements used in the final estimation curves. However, the purpose of the proposed formulations should always be kept in mind, that is, the incorporation of variables that are not readily available to users for the estimation of displacements should be avoided.

On the other hand, as evidenced in Table 1, the adjustment of the curves is acceptable, so the estimates given are quite reliable considering the aforementioned limitations. But it should not be forgotten that these are still estimates, the obtained values should therefore only be considered to have an idea of the magnitude of displacements that can be expected.

Finally, it is expected that these formulations will facilitate the work and installation of 5G antennas.

5. References

- [1] D. Martínez, «www.nobbot.com,» 6 Junio 2016. [En línea]. Available: https://www.nobbot.com/destacados/antenas-faros-latelefonia-5g-llegue-buen-puerto/. [Último acceso: 10 Febrero 2019].
- [2] J. García, «https://andro4all.com,» 21 Enero 2018. [En línea]. Available: https://andro4all.com/2018/01/que-es-como-funciona-5g. [Último acceso: Febrero 10 2019].
- [3] C. López and J. Music, Análisis del período desplazamiento de edificios de hormigón armado considerando distintos grados de rigidez en sus elementos resistentes, Antofagasta, Chile, 2016.
- [4] A. Sil and T. Longmailai, «Drift Reliability Assessment of a Four Storey Frame Residential» J Inst Eng. India Ser A, vol. 98, n° 3, pp. 245-256, 2017.
- [5] J. Shan, X. Chen, H. Yuan and W. Shi, «Interstory drift estimation of nonlinear structure using

- acceleration measurement with test validation» J Eng Mech, vol. 141, n° 10, 2015.
- [6] E. Miranda, Estimation of maximum interstory drift in displacement-based design, Slovenia, 1997.
- [7] R. Aguiar, «Nueva Metodología y parámetro B6,» de Evaluación rápida de la deriva máxima de piso para calcular la vulnerabilidad sísmica de estructuras, Barcelona, España, Monografías de Ingeniería Sísmica, 2006, pp. 105-110.
- [8] H. Scaletti, Estimación Rápida de Desplazamientos Laterales Producidos por Sismo, Lima, Perú, 2007.
- [9] J. C. Vielma, A. Barbat and S. Oller, "Seismic performance of buildings with waffled-slab floors.," Structures & Buildings., vol. 162, pp. 169-182, 2009.
- [10] J. Vielma and M. Mulder, «Improved procedure for determining the ductility of buildings

- under seismic loads» Revista Internacional de Métodos Numéricos para cálculo y diseño en Ingeniería, vol. 34, pp. 1-27, 2018.
- [11] V. Petrov, D. Solomitckii, A. Samuylov, M. Lema, M. Gapeyenko, D. Moltchanov, S. Andreev, V. Naumov, K. Samouylov, M. Dohler and Y. Koucheryavy, «Dynamic Multi-Connectivity Performance in Ultra-Dense Urban mmWave Deployments» IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no 9, pp. 2038-2055, 2017.
- [12] R. Zhang, X. Lu, J. Zhao, L. Cai and J. Wang, «Measurement and modeling of angular spreads of three-dimensional urban street radio channels» IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 66, n° 5, pp. 3555-3570, 2017.
- [13] H. Mei, J. Bigham, P. Jiang and E. Bodanese, «Distributed dynamic frequency allocation in fractional frequency reused relay based cellular networks» IEEE Transactions on Communications, vol. 61, no 4, pp. 1327-1336, 2013.
- [14] S. Rangan, T. Rappaport and E. Erkip, Millimeter-Wave Cellular Wireless Networks: Potentials and Challenges, Brooklyn, United Estates, 2014.
- [15] INN, NCh1537.Of1986 Diseño estructural de edificios Cargas permanentes y sobrecargas de uso, Santiago, Chile, 2009.
- [16] INN, Nch433.Of1996 Diseño sísmico de edificios, Santiago, Chile, 2009.

- [17] INN, Nch432.Of2010 Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones, Santiago, Chile, 2010.
- [18] S. Tikoo, Exploring Autodesk Revit 2019 for Structure, Schererville Indiana: CADCIM Technologies, 2018.
- [19] MINVU-Ministerio de Vivienda y Urbanismo, D.S. N°60. V. y U. Diseño y cálculo de hormigón armado, Santiago de Chile: D.S. N°60. V. y U. Diseño y cálculo de hormigón armado, 2011.
- [20] MINVU-Ministerio de Vivienda y Urbanismo, D.S. N°61. V y U. Diseño sísmico de edificios, Santiago de Chile: MINVU-Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2011.
- [21] A. Seco, F. Tirapu, F. Ramírez, G. B. y J. Cabrejas, «Assessing building displacement with GPS. Building and Environment,» Building and Environment, vol. 42, pp. 393-399, 2005.
- [22] J. Tapia y F. Bravo, Análisis Dinámico No-Lineal de Comportamiento del Edificio "Mercado Puerto" Reforzado, Valparaíso, 2019.
- [23] ACHISINA, Diseño Sísmico Basado en Desempeño un procedimiento alternativo para el análisis y diseño sísmico de edificios, Santiago de Chile: Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, 2017.
- [24] A. Kappos y S. Stefanidou, « A deformation-based seismic method for 3D R/C irregular buildings using dynamic analysis, » Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 8, no 2010, pp. 875-895, 2010.

IMPORTANCIA DEL CORTE BASAL MÍNIMO EN EL DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS

Tomás Guendelman¹ y Pedro Hidalgo²

RESUMEN

Se desarrolla una descripción relativa al uso e importancia del conjunto de factores asociados a la solicitación sísmica contenidos en la norma NCh433, en sus versiones creadas desde 1996. Se describen los factores R y R_0 , denominados Factores de Modificación de Respuesta, para análisis sísmico estático y dinámico, respectivamente, y el factor R^* , conocido como Factor de Reducción de la Aceleración Espectral que, en conjunto con el valor de R o R_0 , toma en consideración el período del modo de vibración de mayor masa traslacional equivalente del edificio, en la dirección de análisis.

El principal objetivo de este trabajo se centra en promover el uso del factor R**, denominado Factor de Reducción Espectral Efectiva, que amplifica la aceleración espectral de diseño, si el corte basal es menor que un valor mínimo definido por el código, expandiendo el uso del procedimiento de análisis modal espectral a una gama más amplia de edificios, sin requerir estudios dinámicos no lineales.

¹ Ingeniero civil Universidad de Chile. Profesor Titular (R) Universidad de Chile. Presidente de I.E.C. Ingeniería S.A.

² Ingeniero civil Universidad Católica de Chile. Profesor Emérito Pontificia Universidad Católica de Chile. Consultor en Ingeniería Antisísmica

CONCEPTOS BÁSICOS

Los permanentes avances tecnológicos y la adecuada instrumentación en sitios en que han ocurrido sismos importantes, han permitido realizar numerosos estudios, cuyos resultados y conclusiones han sido integrados a la normativa internacional. En el caso chileno, los terremotos del 3 de marzo de 1985 y 27 de febrero de 2010, contribuyeron en el proceso de actualización de la norma NCh433.Of96, con modificaciones en 2009 y en 2011 (Ref. 1 y 2). Paralelamente, los avances tecnológicos en el área informática han provocado sucesivas evoluciones de los métodos de análisis y en la estimación de las solicitaciones sísmicas, aportando en precisión y comprensión de los resultados.

En términos muy abreviados, es interesante observar ciertos hitos en la evolución del modelamiento estructural y en la interpretación de la acción sísmica. Por ejemplo, podemos ver que el primer modelo estructural consistió en una simple varilla sometida a una ley uniforme, primero, y triangular invertida, después, de aceleraciones que activaban las masas concentradas en cada piso, generando fuerzas estáticas horizontales equivalentes. Posteriormente, hacia fines de años `50, la entronización de la computación digital permitió el tránsito a modelos de marcos equivalentes, gracias a las posibilidades de hacer uso del análisis matricial de estructuras y al análisis dinámico modal espectral, como consecuencia de la factibilidad de determinar períodos y formas naturales de vibración.

A partir de las años `70, el avance exponencial del desarrollo tecnológico permitió disponer de computadores de gran capacidad y velocidad de operación, que dio espacio a modelos estructurales tridimensionales, hizo factible el uso del método de elementos finitos, de modelos de fibras, de consideraciones de comportamiento no lineal de la estructura, se evolucionó hacia el análisis tiempohistoria con el uso de los registros de aceleración de sismos reales, entre muchas otras vertientes del desarrollo de la ingeniería estructural y sísmica.

Pero no todos estos avances -que se siguen produciendo- se traducen exclusivamente en beneficios. En términos prácticos, se observa con temor como la experiencia acumulada pierde terreno frente a la destreza computacional, llevando a hacer creer que

mientras más complejo sea el modelo teórico que se utilice, los resultados estarán más próximos a la verdad. Esto lleva a la necesidad de construir instrumentos de calificación sísmica que hagan factible calificar -y no sólo cuantificar- los resultados de un análisis, mediante el empleo de la experiencia acumulada y el buen criterio

Uno de los instrumentos de calificación sísmica de edificios de hormigón armado que ha resultado importante en la práctica nacional, se denomina "Perfil Bio-Sísmico de Edificios" (Ref. 3), que a la fecha va en su versión 3.0. En este instrumento se establece un conjunto de Indicadores Sísmicos que se calcularon a partir de los resultados del análisis sísmico normativo de un número elevado de edificios construidos en el país que exhibieron un desempeño satisfactorio en sismos severos. Estos valores se consignan en una estadística que sirve como patrón de comparación para aplicarse en nuevos proyectos, pudiendo dar una correcta apreciación de su "salud sísmica".

Es importante señalar que el Perfil Bio-Sísmico NO ES UNA NORMA. Solo debe considerarse como un referente que puede decir: "si con estos valores se lograron desempeños sísmicos satisfactorios, tratemos de replicar la experiencia".

Uno de los indicadores es el Factor de Modificación de la Respuesta, R, parámetro que conduce a la evaluación de las cargas sísmicas utilizadas en el proceso de análisis de un edificio. A través de él, se reduce la intensidad de las cargas elásticas usadas para el diseño a niveles inelásticos. Este factor refleja las características de absorción y disipación de energía de la estructura resistente, incorporando la experiencia sobre el comportamiento sísmico de los diferentes tipos de estructuraciones y materiales empleados en el pasado.

El factor R fue originalmente introducido por los investigadores norteamericanos alrededor de 1974, como un factor constante, independientemente del período fundamental de vibración de la estructura. Cuando se estudió la revisión de la norma chilena NCh433 oficializada en 1996, en la definición del factor R se introdujo tanto la dependencia del período fundamental de la estructura, como la sobre-resistencia lateral que es típica de la construcción de los edificios chilenos estructurados con muros de corte.

En la actualidad, para fines de diseño, prevalece el denominado **Análisis Modal Espectral**, consistente en la acción de un conjunto de fuerzas laterales sobre la estructura, denominadas fuerzas modales, dependientes del espectro de diseño definido en la normativa, que establece la relación entre aceleraciones horizontales de sismo con los períodos naturales de vibración de la estructura. Las fuerzas laterales se determinan a partir de las respectivas formas modales asociadas a cada modo de vibración.

Los espectros de diseño se han deducido de los registros obtenidos durante sismos de gran severidad ocurridos en el pasado, en diferentes tipos de suelo y zonas sísmicas del país. Los sismos severos originan un comportamiento no lineal de la estructura, lo que arruina el método de análisis basado en un comportamiento linealmente elástico. El Factor de Modificación de la Respuesta, en buena medida, hace posible continuar utilizando los modelos linealmente elásticos, para lo cual la norma chilena identifica dos factores, **R** y **R**₀, según se trate de un análisis de tipo estático o dinámico modal espectral, respectivamente. En este trabajo utilizaremos simplemente el símbolo **R**, sin hacer referencia al tipo de análisis sísmico.

Los valores recomendados para R en los códigos se basan en resultados de investigaciones realizadas desde hace más de cuarenta años, recogidos en investigaciones nacionales e internacionales clásicas (Ref. 4 y 5), usando sistemas de un grado de libertad con comportamiento elasto-plástico, lo que produce valores de reducción variables con el período fundamental de vibración de la estructura. Los niveles de la reducción del espectro elástico que implica este factor se han adoptado en base al comportamiento

observado en edificios con diferentes estructuraciones y materiales durante sismos severos pasados.

Las investigaciones indicadas en las referencias 4 y 5, así como las provenientes de diversos estudios adicionales citados en ellas, demuestran que R toma valores crecientes con el periodo fundamental de vibración de la estructura, a partir de la unidad, y asintótico a la ductilidad global de la estructura, definida por el cuociente entre el desplazamiento total del piso superior y el desplazamiento de fluencia global, es decir, aquel donde se inicia el alejamiento de un comportamiento linealmente elástico.

Una vez definido el factor R que se empleará en el análisis sísmico de una estructura determinada, es necesario cuantificar la forma en que interviene en la reducción de las ordenadas espectrales reales, denominadas elásticas, con el fin de construir un espectro de diseño que se pueda aplicar a un modelo linealmente elástico de la estructura, pero que retenga sus características de disipación de energía. En la versión vigente de NCh433, se define el Factor de Reducción de la aceleración espectral, R*, calculado para el período del modo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

Los valores de R especificados en la norma chilena para edificios estructurados con muros, tanto de hormigón armado como de albañilería, se basan en el comportamiento exitoso de edificios que experimentaron sismos de gran severidad en el pasado. La norma chilena especifica la siguiente tabla con los valores máximos de R que se deben usar en el diseño sísmico.

Sistema estructural	Material estructural	R	R_{θ}
	Acero estructural		
	a) Marcos corrientes (OMF)	4	5
Pórticos	b) Marcos intermedios (IMF)	5	6
	c) Marcos especiales (SMF)	7	11
	d) Marco de vigas enrejadas (STMF)	6	10
	Hormigón armado	7	11
	Acero estructural		
	a) Marcos concéntricos corrientes (OCBF)	3	5
	b) Marcos concéntricos especiales (SCBF)	5.5	8
	c) Marcos excéntricos (EBF)	6	10
		7	11
	Hormigón armado		
	Hormigón armado y albañilería confinada		0
	- Si se cumple el criterio $A^{(2)}$	6	9
	- Si no se cumple el criterio A ²⁾	4	4
Muros y sistemas	Madera	5,5	7
arriostrados	Albañilería confinada	4	4
	Albañilería armada		
	- De bloques de hormigón o unidades de geometría similar en las que se llenan todos los huecos, y albañilería de muros doble chapa	4	4
	- De ladrillos cerámicos tipo rejilla con y sin relleno de huecos y albañilería de bloques de hormigón o unidades de geometría similar en que no se llenan todos los huecos	3	3
Cualquier tipo de estructuración o material que no pueda ser clasificado en alguna de las categorías anteriores ³⁾		2	-

- 1) Los valores indicados en esta tabla para acero estructural y hormigón armado suponen el cumplimiento de lo establecido en 5.3.3 (Anexo B) y 5.3.4 respectivamente.
- 2) Criterio A: los muros de hormigón armado deben tomar en cada piso, el 50% del esfuerzo de corte del piso, como mínimo.
- 3) No procede el uso del análisis modal espectral para este tipo de estructuración o material. Por lo tanto, no se establece un valor para R_o .

PÁRRAFOS SELECCIONADOS DE LA NCH433 VIGENTE EN CHILE

Con el objetivo de que este documento sea autocontenido, se insertan los párrafos seleccionados siguientes:

ESPECTROS DE DISEÑO

El espectro de diseño de pseudo-aceleraciones está definido por:

$$S_a = \frac{SA_o\alpha}{(R^*/I)}$$

en que los valores del $I\ \ y\ A_o\ \ {\rm est\'an}$ dados por:

Valor del coeficiente I

Categoría del edificio	I
I	0,6
II	1,0
III	1,2
IV	1,2

Valor de la aceleración efectiva A_a

Zona sísmica	A_{o}
1	0,20 g
2	0,30 g
3	0,40 g

Valor de los parámetros que dependen del tipo de suelo

Tipo de Suelo	S	$T_o(s)$	T' (s)	n	p
A	0,90	0,15	0,20	1,00	2,0
В	1,00	0,30	0,35	1,33	1,5
С	1,05	0,40	0,45	1,40	1,6
D	1,20	0,75	0,85	1,80	1,0
Е	1,30	1,20	1,35	1,80	1,0
F	*	*	*	*	*

Factor de amplificación "α":

$$\alpha = \frac{1 + 4.5 \left(\frac{T_n}{T_o}\right)^p}{1 + \left(\frac{T_n}{T_o}\right)^3}$$

en que:

 T_n : período de vibración del modo n;

 T_o, p : parámetros relativos al tipo de suelo de fundación.

El factor de reducción R^* se determina de:

$$R^* = 1 + \frac{T^*}{0.10 T_o + \frac{T^*}{R_o}}$$

*T** : *P*eríodo con mayor masa traslacional equivalente en la dirección de análisis.

 R_0 : Factor de Modificación de Respuesta, método de análisis modal espectral

CORTE BASAL MÍNIMO Y MÁXIMO

La Norma chilena establece una protección de las estructuras, imponiendo el concepto de **Corte Basal Mínimo**, V_{min} , como una forma de otorgar rigidez lateral a estructuras flexibles, y de controlar sus deformaciones laterales durante eventos sísmicos.

La versión de 1996, modificada en 2009, establece que si la componente del esfuerzo de corte basal en la dirección de la acción sísmica, $V_{\rm dis}$, resulta menor que ISA_o $P/6\,\rm g$ los desplazamientos y rotaciones de los diafragmas horizontales y las solicitaciones de los elementos estructurales se deben multiplicar por un factor de manera que dicho esfuerzo de corte alcance el valor señalado, como mínimo. En este trabajo dicho factor lo denominamos $f_{\rm min}$, $(f_{\rm min} = V_{\rm min}/V_{\rm dis}, f_{\rm min} > 1)$.

También se establece en la norma sísmica un esfuerzo de **Corte Basal Máximo**, V_{max} , para construcciones rígidas, dado por $IC_{m\acute{a}x}$. P. $C_{m\acute{a}x}$ está relacionado con **R** de la manera siguiente:

	0.00 ~
2	$0.90~SA_o/g$
3	$0,60 SA_o / g$
4	$0,55 SA_o/g$
5.5	$0,40 SA_o / g$
6	$0.35 SA_o/g$
7	$0.35 SA_o/g$

Esta disposición es opcional y solo rige para el cálculo de esfuerzos internos. No aplica a desplazamientos ni a rotaciones de los diafragmas horizontales de piso. El factor de reducción lo hemos denominado \mathbf{f}_{max} , ($\mathbf{f}_{max} = \mathbf{V}_{max} / \mathbf{V}_{dis}$, $\mathbf{f}_{max} < 1$).

La justificación de este límite superior obedece al satisfactorio comportamiento sísmico que se ha observado en estructuras rígidas, con bajo período natural de vibración, diseñadas en el pasado con un coeficiente sísmico menor al que indicaría el diseño espectral, y es otro aporte de la observación del comportamiento estructural durante sismos pasados.

Es interesante hacer presente que en la mayoría de los casos de la práctica de los edificios chilenos, su diseño sísmico está controlado por el corte basal mínimo V_{min} o por el corte basal máximo V_{max} .

FACTOR DE REDUCCIÓN ESPECTRAL EFECTIVA R**

Los cortes basales mínimo y máximo conducen a la introducción del **Factor de Reducción Espectral Efectiva**, **R**** que resulta de mucho interés, porque discrimina respecto del procedimiento de análisis sísmico que debiera emplearse en el diseño del edificio.

R* representa la ductilidad global del edificio, en conformidad con los resultados que se muestran en las referencias 4 y 5 antes citadas. Para valores de T* muy bajos, R* tiende a la unidad, mientras que, para valores elevados, tiende a R₀+1.

 R^{**} rectifica el valor de R^* , introduciendo el efecto de los factores que, alternativamente, llevan a satisfacer los requerimientos de corte basal mínimo (\mathbf{f}_{min}) o corte basal máximo (\mathbf{f}_{max}), así como el efecto del factor que amplifica la acción sísmica cuando ésta se combina con otras solicitaciones y que en la versión vigente se le asigna el valor 1.4. La expresión para R^{**} es:

$$R^{**} = \frac{R^*}{1.4f_{min}f_{max}}$$

La Figura 1 muestra la relación entre R* y f_{min}, en la que se puede observar que el empleo de la ecuación para evaluar R* debiera limitarse a una ductilidad global que pueda garantizarse en un edificio de hormigón armado, valor que se estima no debiera superar 6 a 7, de lo que surge el efecto correctivo de exigir que el esfuerzo de corte basal sea mayor o igual a un corte basal mínimo, y a incorporar el factor R**.

Sin embargo, no se justifica que el corte mínimo sea mayor que el esfuerzo de corte basal obtenido del espectro elástico V_e , salvo en el caso de estructuras muy flexibles en las que se desee controlar los desplazamientos laterales. Esta condición conduce a que f_{min} no necesite ser mayor que R^* , lo que surge de las expresiones $V_e = V_{\text{dis}} \, R^* \, y \, V_{\text{min}} = V_{\text{dis}} \, f_{\text{min.}}$

EDIFICIOS CHILENOS. CASOS DE ESTUDIO Y RECOMENDACIONES

El desempeño de los edificios chilenos en eventos sísmicos severos ocurridos en el país, ha tenido reconocimiento nacional e internacional, lo que gatilló el desarrollo del instrumento "Perfil Bío-Sísmico de Edificios". La versión 3.0 incrementó de 13 a 21 el número de indicadores, y amplió la base de datos desde 585 a 4105 edificios construidos entre 1993 y 2017, analizados en dos direcciones, conformando así 8210 casos de análisis.

Entre los diferentes indicadores contenidos en el Perfil Bio-Sísmico, el cuociente H/T* (altura del edificio dividida por el periodo del modo de mayor masa traslacional) describe de manera muy adecuada la rigidez del edificio, como se observa en la Figura 2 y en la síntesis siguiente:

H/T* (m/s)	CALIFICACIÓN DE RIGIDEZ
<20	Edificio fuera de rangos normales. Se sugiere modificar estructuración
20 a 40	Edificio Flexible
40-80	Edificio de Rigidez normal (tradicional de Chile)
80-150	Edificio Rígido
>150	Fuera de rangos normales, pero aceptable

En este trabajo se ha reducido la base de datos con el fin de estudiar el comportamiento de los edificios chilenos más tradicionales, es decir, aquellos en los que el indicador H/T, representativo de su rigidez, está comprendido entre 40 y 80 m/s, y en los que, además, el periodo fundamental sea inferior a 0,15s o superior a 3s, lo que corresponde, respectivamente, a edificios extremadamente rígidos, de uno o dos pisos, o muy flexibles, en general por sobre los 35 pisos. En ambos extremos, los espectros de diseño de la norma NCh433 no se fundamentan en una muestra de edificios estadísticamente suficiente.

La muestra reducida tiene 6207 casos en lugar de 8210, lo que representa un 75,6 % del total, lo que justifica la denominación de "edificio tradicional". Las Figuras 3 y 4 consignan algunos resultados de interés provenientes del análisis sísmico normativo para los 6207 edificios seleccionados.

La Figura 3 muestra la importancia de considerar el efecto del corte basal en la efectiva modificación de la respuesta, que se amplifica en el caso de estructuras muy flexibles, y se reduce (consideración opcional), para rigideces excesivamente elevadas. De esta figura se desprende la sugerencia de verificar desplazamientos con un análisis no lineal, estático o dinámico, si R* es superior a 8.

La Figura 4, por su parte, muestra un histograma que relaciona los valores de R** con el total de casos, expresados en porcentaje, lo que permite validar el procedimiento de análisis, sugiriendo un eventual

análisis no lineal, conforme a:

- Para R** igual o inferior a 4, se puede dar validez al modelo lineal elástico de análisis.
- Para R** comprendido entre 4 y 6, se sugiere un análisis estático no lineal.
- Para R** superior a 6, se sugiere un análisis dinámico no lineal.

Para fines ilustrativos, consideremos el caso de la Torre 2 del complejo Costanera Center, para la que se registra la siguiente información:

 $\begin{array}{lll} H & = & 291,85 \text{ m} \\ T^* & = & 6,84 \text{ s} \\ R^* & = & 11,49 \\ f_{min} & = & 9,70 \\ R^{**} & = & 0.85 \end{array}$

En términos de esfuerzos, el valor de R^{**} inferior a la unidad, conduce a un análisis con espectro elástico, que originará un diseño razonable, especialmente, si se observa que f_{min} es menor que R^* . Por otra parte, el cuociente H/T^* es 42,7, lo que ubica al edificio en el segmento de "Rigidez Normal".

No obstante, lo indicado en el párrafo precedente, es legítimo cuestionar el empleo del espectro elástico de la norma sísmica NCh433, que no está suficientemente calibrado para periodos de vibración largamente superior a 3s, lo que hizo necesario realizar un estudio específico de Riesgo Sísmico conducente a generar un registro sintético de aceleraciones y su correspondiente espectro elástico. Con estos elementos se procedió a realizar un análisis sísmico no lineal de tipo estático (pushover), y otro tiempo-historia, con el propósito de controlar los desplazamientos laterales que se pudieran producir.

La proximidad de resultados obtenidos del análisis sísmico no lineal comparados con el análisis modal espectral y disposición de corte basal mínimo, invitan a difundir esta recomendación y a sugerir su integración en las normas internacionales que aún no la contemplan en sus códigos de diseño sísmico. Es un hecho innegable que las disposiciones de la norma NCh433, controladas por el comportamiento de edificios durante

sismos severos pasados, no incorporan la experiencia sísmica de edificios flexibles, con razones H/T* menores a 40 m/s. Por lo tanto, se recomienda ser cautelosos en el diseño sísmico de edificios de este tipo que se requieran en Chile en los años futuros.

Mientras no se disponga del conocimiento del comportamiento sísmico de edificios con período fundamental mayor que 3s, se recomienda que,

alternativamente al camino seguido para el diseño del Costanera Center, en el diseño sísmico de dichos edificios se reemplace el corte basal mínimo de NCh433 por un esfuerzo de corte basal no menor que el valor Ve obtenido del espectro elástico. Sin embargo, esta recomendación debe ir asociada a un estudio y mejor definición del desplazamiento sísmico horizontal máximo que se puede aceptar en el diseño de tales edificios.

REFERENCIAS

- Norma Chilena Oficial NCh433.Of1996 Modificada 2009, "Diseño Sísmico de Edificios". Instituto Nacional de Normalización INN, Diario Oficial de 12 de junio de 2010.
- D.S. N°61 MINVU, "Reglamento que fija el diseño sísmico de edificios y deroga Decreto N° 117, de 2010, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Diario Oficial 13 de diciembre del 2011.
- 3. T. Guendelman, F. Medina, M. Guendelman, L. Figueroa, "Perfil Bío-Sísmico de Edificios 3.0", Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, Vol. 129, N°3, diciembre de 2017, contenida en la Revista Chilena de Ingeniería ISSN 0370 4009 N°482, diciembre 2017.
- 4. R. Riddell, Hidalgo, P., Cruz, E., "Response Modification Factors for Earthquake Resistant Design of Short Period Structures". Earthquake Spectra, Vol 5, No 3. August 1983.
- 5. E. Miranda and Bertero V., "Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design", Earthquake Spectra, Volume 10, Number 2, May 1994.

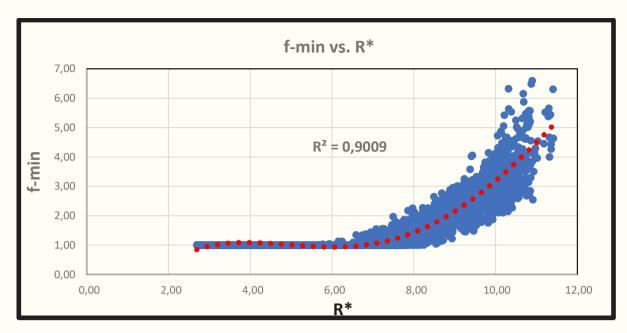


Figura 1: Relación entre f_{min} y R*

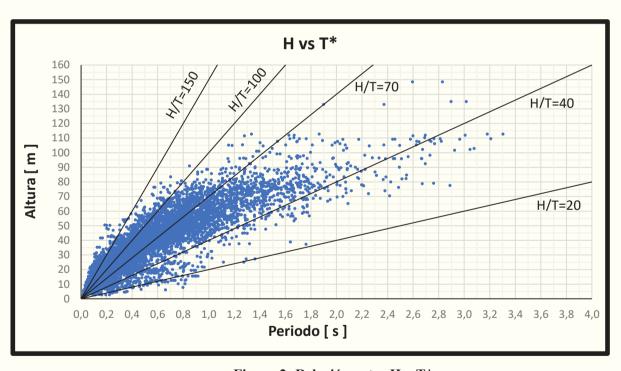


Figura 2: Relación entre H y T*

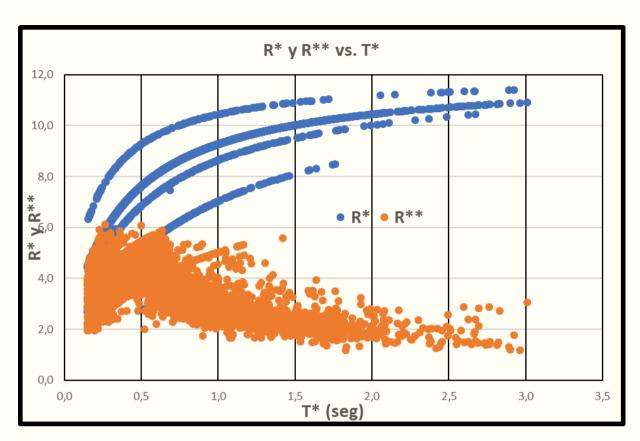


Figura 3: Valores de R^*y de $R^{**}vs$. Periodo de mayor masa traslacional

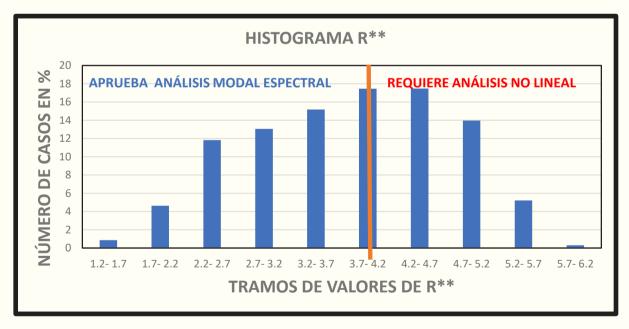


Figura 4: Histograma de valores de R**

LA INDUSTRIA AZUCARERA DE GRANADA (ESPAÑA) Y SUS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Agustín Castillo Martínez¹

Resumen

La industria azucarera granadina llevó la iniciativa en el principal proceso de generación del auge industrial que se produjo en la provincia de Granada (España) entre los años 1882 y 1929. En numerosas ocasiones, las sociedades que implantaron factorías de procesamiento de azúcar de remolacha o de caña procedían de Francia o Alemania, bien en su diseño industrial, bien en el origen de sus técnicos consultores. El impacto económico y social de estas actividades fue notable en la Vega de Granada y en el área de Motril.

El objetivo del presente trabajo es la documentación y difusión de los sistemas constructivos empleados en las edificaciones de la industria azucarera granadina, incluyéndose entre ellas la construcción de las cimentaciones superficiales, los muros de carga, las estructuras en celosía de madera y metálicas, las cubiertas, diversas tipologías de estructura metálica en fundición y acero laminado, y diversos detalles constructivos característicos de este tipo de actividad industrial. Merecen especial atención las soluciones singulares que aparecen, con carácter local, en algunas de estas edificaciones.

¹ Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Granada (España). Profesor sustituto interino en el Área de Ingeniería de la Construcción, Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera, Universidad de Jaén (España). acmartin@ujaen.es

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera llevó la iniciativa en el principal proceso de generación de tejido industrial que se produjo en la provincia de Granada (España) a finales del siglo XIX y principios del XX. Ante un panorama económico muy afectado por el lento y progresivo declive del sector primario en la provincia, este tardío desarrollo industrial resultó de importancia vital para el advenimiento de una cierta recuperación económica, la creación de un incipiente sistema de infraestructuras de transporte y comunicaciones y, en definitiva, acabó siendo el paso definitivo de la provincia de Granada hacia la revolución industrial y la entrada en la era moderna desde el punto de vista económico y técnico.

Aunque se habla de industria del azúcar en Granada, un estudio más detallado revela la existencia de dos procesos industriales distintos para la obtención del mismo producto: la fabricación de azúcar de remolacha, de vital importancia para el desarrollo de la capital y la vega granadina, así como de la comarca de Guadix, por un lado; y la fabricación de azúcar de caña, circunscrita a la comarca de la costa de Motril y Salobreña, por otro. Este último caso fue de menor importancia en lo cuantitativo, con muy pequeña repercusión a nivel nacional, y, sin embargo, su estudio revela interesantísimos resultados a nivel técnico y económico. Además, inició su andadura con bastante antelación a la industria de la remolacha de la Vega de Granada.

Ambos procesos industriales llegaron a coexistir en el espacio en la Fábrica *La Purísima Concepción* de Granada, gracias al transporte de la caña de azúcar por parte de la empresa Tranvías Eléctricos de Granada, S.A. (TEGSA) desde la costa hacia la capital. Esta empresa invirtió fuertemente en el desarrollo de la industria que nos ocupa, teniendo especial influencia en el desarrollo de las infraestructuras actuales de transporte de la provincia. Su implicación en la industrialización tuvo gran repercusión en la zona metropolitana de Granada, pero también en el Puerto de Motril y en la conexión de la capital con la comarca de la costa, a través de sistemas tranviarios y de transporte por cable.

LA INDUSTRIA DEL AZÚCAR DE CAÑA

La llegada del insigne Ramón de la Sagra, botánico nacido en La Habana, a la península trajo no sólo grandes conocimientos sobre la producción del afamado azúcar cubano, sino la concreción de diversas iniciativas industriales en la península en torno al azúcar, que cristalizaron en la fundación de la Sociedad Azucarera Peninsular. Esta sociedad fundó en 1845 en Almuñécar el primer ingenio mecanizado, con evaporadores de la marca Derosne-Coil, y que posteriormente incorporaron centrifugadoras. En 1866 los beneficios permitieron a la sociedad la apertura de una nueva fábrica en Salobreña.

La gran revolución llegó a la industria con la aparición de la máquina de vapor, que era utilizado para un doble propósito: la limpieza y concentración de la caña para la extracción de los jugos, y la obtención de fuerza motriz, en una suerte de sistema cogenerador. La máquina de vapor comenzaba a sustituir de manera fulminante a la llamada "tracción de sangre", usualmente llevada a cabo por bestias de carga o por la fuerza muscular de los propios trabajadores.

En cuanto a la procedencia de la maquinaria para la fabricación, fue en origen fundamentalmente británica y francesa, siendo las empresas francesas Fives-Lille, Cail y Savalle, o la británica Mirless Watson las suministradoras del equipamiento. Posteriormente, y en el caso del azúcar de remolacha, la alemana Braunschweigische Maschinenbau-Anstalt (BMA) también participó en los diseños de la maquinaria de los recintos fabriles de San Isidro y, parcialmente, en la de San Torcuato, en Guadix.

Entre las poblaciones de Motril y Salobreña se emplaza la denominada *Vega del Guadalfeo*, lugar donde podemos encontrar los más numerosos e interesantes vestigios industriales de la producción del azúcar en toda la Europa de las sociedades preindustriales de la primera mitad del siglo XIX. Según los registros de 2003, la comarca aún tenía una actividad azucarera residual, caracterizada por sus 700 Ha. dedicadas aún al cultivo (Giménez Yanguas, Reyes Mesa et al, 2003). La última fábrica de azúcar de caña de Europa, *Nuestra Señora del Rosario*, redenominada posteriormente *Azucarera del Guadalfeo*, en Salobreña, cesó en 2006 en su funcionamiento, con la especial característica de poseer la última máquina de vapor en funcionamiento en toda Europa con propósitos de fabricación industrial.

Aunque aún queda alguna industria relacionada con la caña de azúcar, como una importante destilería en Motril, este cierre augura el declive final de esta actividad en la costa granadina, de la que fue pionera en la Europa de mediados del siglo XIX.

Ésta comienza de forma seria con la importación desde Inglaterra en 1860 de unos molinos por parte de D. Joaquín Agrela Moreno, que, ayudado por sus hijos, construyó una de las primeras instalaciones industriales dignas de tal nombre, potenciando la actividad agrícola de este sector productivo.

La segunda factoría construida en la zona (1861) fue *Nuestra Señora del Rosario*, en el paraje de "La Caleta" de Salobreña, elegido por su cercanía tanto al mar para el transporte marítimo como a las zonas productoras de la caña. En su fundación y desarrollo tuvo un importante papel el citado emprendedor, y a su muerte, la sociedad colectiva *Agrela Hermanos* derivó en 1920 en la constitución de una moderna sociedad anónima, encargada de regir su destino económico en el futuro.



[Fig. 1. Fotografía de la factoría Nuestra Señora del Rosario en su período de operaciones. Fuente: V Reunión General de la Real Sociedad Española de Física y Química y II de los Institutos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Granada, mayo de 1948).]

Tras pasar por diversas crisis técnicas y financieras en 1933, 1953 y 1957, finalmente es vendida en 1976 a OLIE, S.A, y redenominada *Azucarera del Guadalfeo, S.A.* hasta su desaparición tras la campaña de junio de 2006.

LA AZUCARERA *NUESTRA SEÑORA DEL PILAR* (MOTRIL, 1882)

La azucarera *Nuestra Señora del Pilar*, en Motril, es, después de la anteriormente citada, la más antigua de las que aún quedan en pie en la costa granadina. Construida en 1882, y fundada por la mercantil *Burgos*,

Domínguez y García, realizó su última campaña en 1984, quedando clausurada en esa fecha, y habiendo sido objeto reciente en algunas de sus edificaciones de un cuidado proceso de rehabilitación.



[Fig. 2. Fábrica Azucarera *Nuestra Señora del Pilar* en Motril. Fuente: Elaboración propia, abril de 2008.]

Esta fábrica es la de mayor valor patrimonial de toda la comarca de la costa, no sólo por la perfecta integridad estructural del conjunto de las edificaciones y el área de trabajo, sino por albergar en su interior maquinaria construida entre 1882 y 1929, con altísimo valor para el patrimonio tecnológico español, estando considerada por la Asociación Española del Patrimonio Industrial y la Obra Pública como el conjunto patrimonial más importante de Andalucía, y uno de los cinco más importantes a nivel nacional.

El propietario original vendió su participación a la Marquesa de Esquilache, que a su vez llegó a un acuerdo con la *Sociedad General Azucarera de España* en 1903, la cual realizó las dos únicas ampliaciones de la instalación tras la inauguración en 1883: la de 1929 y la de 1983. La factoría original fue diseñada por el insigne arquitecto D. Francisco Giménez Arévalo. El conjunto de producción estuvo en marcha hasta 1984, fecha de la última molienda registrada en la fábrica. El 18 de junio de 1993 fue declarada Bien de Interés Cultural, en la categoría de monumento.

Desde el punto de vista de los sistemas constructivos, cabe destacar la aparición de metodologías muy similares a las adoptadas en diversas edificaciones de fábricas azucareras de la Vega de Granada. Así, en el edificio de almacenes, aparece la solución de pilares de fundición con capiteles para el sostenimiento de las jácenas, muy similares a las de la Fábrica de San Isidro

(Granada, 1901), o a las documentadas en proyectos rescatados de otras fábricas, como es el caso de *El Ingenio de San Juan (*Granada, 1882).



[Fig. 3. Pilares de fundición gris con capiteles en Fábrica Azucarera *Nuestra Señora del Pilar* en Motril. Fuente: Elaboración propia, abril de 2008.]

Asimismo, en las edificaciones cuyo proceso de rehabilitación terminó en 2008, podemos encontrar forjados de bovedillas y muros de carga similares a los de San Isidro (Granada, 1901), así como estructuras mediante cerchas de madera para el sostenimiento de las cubiertas, muy similares a las ejecutadas en la Azucarera *El Señor de la Salud* (Santa Fe, 1889).



[Fig. 4. Forjado de bovedillas en edificación rehabilitada de la Fábrica Azucarera *Nuestra Señora del Pilar* en Motril. Fuente: Elaboración propia, abril de 2008.]

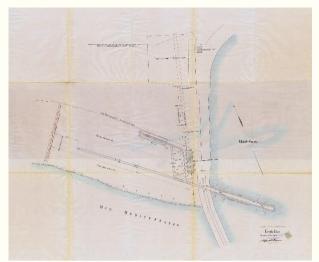


[Fig. 5. Estructura de cerchas de madera para cubierta en edificación rehabilitada de la Fábrica Azucarera *Nuestra Señora del Pilar* en Motril. Fuente: Elaboración propia, abril de 2008.]

LA INDUSTRIA DEL AZÚCAR DE REMOLACHA: IMPACTO ECONÓMICO Y DE DESARROLLO

El inicio del cultivo intensivo de la remolacha en la Vega de Granada propició un cambio económico de dimensiones enormes en muchos aspectos. En primer lugar, dinamizó una agricultura que se encontraba en un periodo de lenta decadencia en la comarca. En segundo lugar, dio el impulso definitivo a una verdadera industrialización, que aunque de forma lenta, comenzó a formar una cultura del empresario emprendedor de la que la comarca carecía. Por último, articuló toda una red de infraestructuras del transporte, siempre necesaria para el desarrollo y la industrialización.

Como ejemplo, baste recordar que la compañía *Tranvías Eléctricos de Granada, S.A.* (TEGSA) promovió la redacción de detallados estudios de viabilidad para articular la comunicación no sólo de Granada con el Puerto de Motril, sino incluso para ejecutar conexión ferroviaria con Jaén hacia el norte, y con el puerto de Málaga a través de la comarca de Alhama de Granada. Incluso ejecutó obras de transporte por cable para mercancías de Granada al puerto de Motril a través de la estación tranviaria de Dúrcal, con ramal a Órgiva para la extracción y transporte del mineral de las llamadas *Minas del Conjuro*.



[Fig. 6. Plano del proyecto de las instalaciones de TEGSA y la Sociedad de Las Minas del Conjuro en el Puerto de Motril. Fuente: Ministerio de Fomento.]

DO DUERTO

SESTACIONA

PROPRIORI

RESTACIONA

POR PORTO

POR PORTO

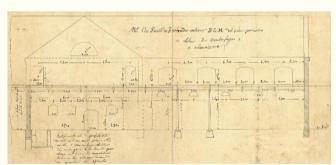
POR PORTO

[Fig. 7. Plano de la traza del final de la línea de transporte por cable Dúrcal-Puerto de Motril, propiedad de TEGSA. Fuente: Ministerio de Fomento.]

Cabe extender todas las apreciaciones anteriores sobre el impacto de esta industria, corregidas y aumentadas si cabe, en el caso de la comarca de Guadix. Allí abrió sus puertas la Fábrica San Torcuato en 1901, llegando a procesar 250 toneladas al día, seguida de la importantísima Unión Agrícola Azucarera Nuestra Señora del Carmen S.A. en Benalúa en 1913, que alcanzó una producción pico de 500 toneladas diarias. En ambos casos se conservan las edificaciones.

LA INDUSTRIA DEL AZÚCAR DE REMOLACHA: FÁBRICAS DE LA VEGA

De vuelta a la Vega de Granada, la muestra más incipiente de actividad industrial respecto al procesamiento de la remolacha se halla en el llamado *Ingenio de San Juan* (Granada, 1882), que llegó a procesar 100 toneladas diarias. Aunque la mayor parte de las instalaciones no se conservan (sólo el edificio), sí se ha tenido acceso a partes del proyecto de la edificación, donde podemos observar que se hace referencia a los pilares de fundición gris con capitel ya mencionados en el caso de las edificaciones azucareras de la costa, asimismo combinados con muros de carga de ladrillo en los extremos como solución estructural para la transmisión vertical de las cargas.



[Fig. 8. Plano de alzado de columnas de fundición gris con capitel en el *Ingenio de San Juan* (Granada, 1882). Fuente: Archivo privado M. Giménez Yanguas.]

En este caso, se encuentran cimentadas sobre bloque de piedra, solución que resultó muy recurrente como método de cimentación en la comarca de la Vega, dado el fácil acceso a las canteras de *Sierra Elvira* para usos en edificación, tanto estructurales como ornamentales.

A esta fábrica siguieron la de *San Fernando*, en Atarfe (1884), *Nuestra Señora de las Angustias*, en Granada (1889) y *El Señor de la Salud*, en Santa Fe (1889), conservándose sólo la chimenea en el primer caso y los edificios en estado precario en el tercero.



[Fig. 9. Fábrica *El Señor de la Salud*, en Santa Fe (1889). Fuente: Elaboración propia, julio de 2009.]

Esta factoría de Santa Fe, que reconvirtió su uso para dar paso a la fábrica de maderas en 1943, fue vendida en 1948 para dar albergue a un polvorín del ejército hasta la década de los noventa, y será con toda probabilidad objeto de rehabilitación en breve. Aunque tristemente se demolió la chimenea en este último periodo, se conservan tres edificaciones: la nave de producción, la alcoholera y un pequeño almacén, que se encontraba junto a la desaparecida chimenea. En ellos aparece, como se mencionó anteriormente, la tipología de cubierta sobre cerchas de madera, así como de forma puntual las columnas de fundición gris con capitel y cimentación mediante piedra aislada para cada uno de los capiteles.



[Fig. 10. Estructura de cerchas de madera en la Fábrica *El Señor de la Salud*, en Santa Fe (1889). Fuente: Elaboración propia, julio de 2009.]



[Fig. 11. Cimentación de pilar de fundición gris mediante roca aislada en la Fábrica *El Señor de la Salud*, en Santa Fe (1889). Fuente: Elaboración propia, julio de 2009.]

Posteriormente, aparecen en la Vega las fábricas de *San José* (Granada, 1890), *San Cecilio* (Granada, 1890) y *Santa Juliana* (Armilla, 1890), que actualmente alberga tras proceso de rehabilitación la Feria de Muestras de Armilla. La actividad de esta última fue muy importante, llegando a las 500 toneladas de procesamiento diario.

Surgen seguidamente en Pinos Puente en 1890 las factorías de *Nuestra Señora del Rosario* y *Nuestra Señora del Carmen*, parcialmente conservadas, para dar paso a la importante aparición de la Fábrica de *San Isidro* en Granada en 1901. Por su relevancia de cara a la economía y técnica industrial, se tratará ésta última más adelante.

Las últimas apariciones de industrialización azucarera en la comarca corrieron por cuenta de las fábricas de *Nuestra Señora de las Mercedes* (Caniles, 1901), *Nueva del Rosario* (Pinos Puente, 1904), *La Vega* (Atarfe, 1904), *La Purísima Concepción* (Granada, 1905) y *San Pascual* (Zujaira, 1910), todas ellas de elevadísimas capacidades productivas, entre las 250 y las 500 toneladas diarias.



[Fig. 12. Secadero de pulpa de la fábrica *La Purísima Concepción* (Granada, 1905). Fuente: Archivo TEGSA, memoria de actividad 1928.]

Como se comentó anteriormente, el caso de la factoría de *La Purísima Concepción* es paradigmático de la implicación de las compañías de construcción de infraestructuras en la generación del tejido industrial, pues TEGSA compró parte del capital de la azucarera, y amplió la instalación de procesamiento de azúcar de remolacha mediante una línea paralela de procesamiento del azúcar de caña, que llegaba transportado desde la costa por la mencionada línea de cable. De este modo cohabitaban en la misma factoría ambos procesos industriales.

LA AZUCARERA DE SAN ISIDRO (GRANADA, 1901)

La Azucarera de San Isidro estuvo en funcionamiento entre los años de 1901 y 1983. Está emplazada en el actual barrio de La Bobadilla de Granada, y llegó a tener una capacidad máxima de procesamiento de 1.000 toneladas al día, conservándose a día de hoy integramente los edificios, y encontrándose el entorno pendiente de una inminente reordenación urbanística por parte del Ayuntamiento de Granada tras su adquisición por parte de la Universidad de la ciudad para transformarla en un campus universitario.

La azucarera tenía acceso ferroviario, encontrándose aún en su patio restos de la infraestructura que sirvió para la descarga de las materias primas y la carga del azúcar producido, así como de los subproductos de la fabricación. Cabe destacar que junto a estas instalaciones se encontraba en funcionamiento una báscula de considerables dimensiones, que terminó sus días en la Estación de Gor (línea F.C. Granada-Murcia). Esta infraestructura ferroviaria incluía sistemas de cambio de sentido en corto espacio, resueltas mediante placas giratorias.



[Fig. 13. Fábrica de *San Isidro* (Granada, 1901). Fuente: Elaboración propia, marzo de 2008.]

La fábrica llegó a albergar casi 600 trabajadores, repartidos en tres turnos de trabajo continuado, lo que generó el desarrollo de una pequeña aldea de servicios alrededor del recinto. Ésta acabó teniendo apartadero de tranvía y, posteriormente, de autobús, al encontrarse situado en la antigua Carretera de Málaga.

En cuanto a los sistemas constructivos, la estructura en planta presenta una distribución en anchura de cuatro vanos de longitudes variables, siendo estas, de Oeste a Este, de 4,00 m, 4,10 m, 4,20 m y 4,80 m, medidas entre centros de pilares. La distancia longitudinal, en dirección Norte-Sur, entre los pilares es constante e igual a 5 m.

La distribución del edificio en altura presenta tres plantas más planta baja, donde se ubicaban las turbinas de la fábrica. Por encima de la planta de turbinas se ubicaba la planta de maquinaria malaxadora, íntimamente relacionada por medios mecánicos con la planta de turbinas. La maquinaria se encontraba conectada a través de diversos huecos aún visibles en el forjado del primer piso. La segunda planta era el almacén de azúcar, y la tercera, de reducidas dimensiones en planta, estaba dedicada a albergar los depósitos de agua.



[Fig. 14. Interior de la fábrica de *San Isidro* hacia 1910. Fuente: Archivo privado M. Giménez Yanguas.]

Desde el punto de vista estructural, se advierte de forma inmediata que las dimensiones en planta de la fábrica original, puesta en marcha en 1901, eran muy inferiores a las existentes actualmente, habiéndose producido a lo largo del siglo XX diversas ampliaciones, que pueden notarse por los distintos tipos estructurales utilizados a la hora de resolverlas, y que iban encaminadas al aumento de la producción de la fábrica.

Así, los pilares originales son cilíndricos, huecos y de fundición, reforzados con capiteles y basas para el correcto reposo de las vigas; los pilares de las ampliaciones, por el contrario, son de perfiles de acero laminado en forma de «U» empresillados para

garantizar la integridad estructural y servir de refuerzo. Éstos últimos se roblonaron completamente, como puede verse en las figuras 15 y 16. También pueden observarse, en el primer caso, los mencionados capiteles de fundición que soportan vigas laminadas de doble T de ala estrecha, capiteles que poseen clara influencia estética de la arquitectura clásica, así como los forjados de bovedillas citados anteriormente.



[Fig. 15. Pilares de fundición gris y forjados de bovedillas en la Fábrica de *San Isidro* (Granada, 1901). Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2007.]



[Fig. 16. Pilares de perfiles de acero laminado en forma de «U» empresillados en la Fábrica de *San Isidro* (Granada, 1901). Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2007.]

Los pilares y capiteles de fundición llevan la marca «José Pastor Moltó, Calle San Isidro esquina a Nueva de la Virgen y Callejón de la Acequia Gorda». El radio de los pilares en su punto más estrecho es de 13,2 cm, siendo su circunferencia de 83 cm.

Los muros de carga son de 70 y 80 cm de espesor respectivamente, estando reforzados por contrafuertes de 50 cm de espesor.

En la Planta de Turbinas, las alturas se distribuyen como sigue: como cimentación, grandes bloques de piedra de forma cúbica de 60 cm de lado; altura del pilar de fundición, igual a 3,80 m, incluyendo los 40 cm del capitel; 30 cm de altura de las jácenas apoyadas sobre los pilares; y, por último, 20 cm de los forjados, cuya tipología era conocida como «de bovedillas de revoltón» o «bovedilla curva». Este tipo de forjado era ejecutado por medio de rasillas unidas con cemento, y extendiendo sobre ellas la capa de compresión de hormigón. Esta capa no incluía armadura alguna, por lo que se ejecutaba con gran espesor.

Las citadas jácenas tienen 30 cm de altura y 15 cm de medida de anchura de ala. Las cerchas que sostienen la cubierta son dobles, de 5 cm de ancho y 5 mm de espesor, y se encuentran separadas 4,30 m en dirección longitudinal.

El primer detalle que conviene destacar de la estructura metálica es la prolongación de los pilares entre planta y planta. La forma en que la columna se prolonga a través de las jácenas y forjados es extremadamente particular, y puede apreciarse en la figura 17.



[Fig. 17. Detalle de prolongación de pilar de fundición gris en la Fábrica de *San Isidro* (Granada, 1901). Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2007.]

En la figura 18 podemos apreciar una de estas prolongaciones, con la particularidad de que se produce una variación en la tipología del pilar entre planta y planta. Puede apreciarse que la columna de fundición

de la primera planta pasa a ser de láminas de acero empresilladas y roblonadas en la segunda, posiblemente, por tratarse ésta última de parte de una ampliación del forjado entre la segunda y la tercera alturas, y de datación bastante posterior. Aparece igualmente esta tipología en el edificio de la alcoholera anexa a las instalaciones.



[Fig. 18. Prolongación de pilar con variación en la tipología en la Fábrica de *San Isidro* (Granada, 1901). Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2007.]

CONCLUSIONES

La digitalización de documentación técnica del siglo XIX y principios del XX nos ayuda a identificar y comprender los tipos estructurales utilizados en las construcciones de tipo industrial que forman parte del patrimonio histórico y cultural.

En ellas se pueden percibir las grandes influencias de los técnicos franceses de finales del XIX; al adquirir frecuentemente en España la maquinaria industrial a través de catálogos franceses o alemanes, su instalación incluía necesidades y limitaciones que debían ser resueltos por los ingenieros y arquitectos de la época mediante soluciones que venían determinadas por las propias medidas geométricas y el funcionamiento de la citada maquinaria.

Éstas venían propuestas, en su mayoría, por los propios técnicos industriales, y afectaron particularmente a las distribuciones en altura y a los forjados. Es sabido que muchos de estos técnicos centroeuropeos se afincaron, incluso definitivamente, en el sur de España tras la instalación y puesta en marcha de las soluciones industriales.

La fábrica de San Isidro tuvo sucesivas ampliaciones a lo largo del tiempo, así como accesibilidad ferroviaria posterior a través del sistema tranviario metropolitano.

La construcción de chimeneas y otras torres relacionadas con el proceso de fabricación se convirtió en un auténtico hito paisajístico del patrimonio industrial en toda Europa. Se ejecutaron inicialmente en ladrillo, aunque con posterioridad aparecieron chimeneas de hormigón.

Los forjados de bovedillas, conocidos localmente en ocasiones como "de revoltón", fueron muy populares en Centroeuropa y en España, estando la tipología muy extendida.

BIBLIOGRAFÍA

ANÓNIMO. "Apuntes de Construcción de la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid, curso académico 1908/1909".

BOUGHTON, R. V.; RYDER, H. The New Carpenter and Joiner. Londres: The Caxton Publishing Company, 1946.

CHABAT, Pierre; MONMORY, Félix. La Brique et la Terre Cuite. París: V. A. Morel et Cíe. Libraires-Éditeurs, 1881. 170 p.

ÉMY, A.R. Traité de l'Art de la Charpenterie. Volumen Atlas, 1^a Ed. Bruselas: Meline, Caus et Compagnie, 1841-2. 156 p.

GIMÉNEZ YANGUAS, Miguel; REYES MESA, José Miguel; et al. Patrimonio Industrial en Granada. Granada: Ed. Asukaría Mediterránea, 2003. 328 p. ISBN: 84-896895-49-5.

GIMÉNEZ YANGUAS, Miguel; PIÑAR SAMOS, Javier. Compagnie de Fives-Lille pour Constructions Mécaniques et Entreprises: Catálogo. Granada: ed. Asukaría Mediterránea, 1999. 142 p. ISBN: 84-89685-38-X.

KIDDER, Frank E.; PARKER, Harry, Manual del Arquitecto y del Constructor. México, D. F: Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, 1957. 2363 p.

MARTIN, M. L'Architecture Usuelle, supplément n° 22, 24. París: Emile Thezard editeur.

MARVÁ MAYER, J. Mecánica Aplicada a las Construcciones. Volumen Atlas, 5ª Edición Revisada. Madrid: Julián Palacios, 1916. 151 p.

SEBASTIÀ, Jordi. La Belleza Industrial. Valencia: Fundación Bancaja, 2007. 237 p. ISBN: 978-84-8471-131-5.

SOBRINO, Julián. Arquitectura Industrial en España, 1830-1990. Madrid: Cátedra, 1996. 367 p. ISBN: 84-376-1441-4.

TITOS MARTÍNEZ, Manuel; GIMÉNEZ YANGUAS, Miguel; et al. Historia Económica de Granada. Granada: Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Granada, 1998. 397 p. ISBN: 84-89685-18-5.

VIERENDEEL, A. La Construction Architecturale en Fonte, Fer et Acier, Volumen Atlas, tomo 2 de 2. Lovaina: A. Uystpruyst y Dunod, 1902. 138 p.

MEDIR PARA MEJORAR: EXPERIENCIAS DEL PROGRAMA COMPITEMAS® IMPLEMENTANDO PROCESOS SOSTENIBLES PARA LAS PYMES EN LATINOAMÉRICA CON UN ENFOQUE DE INGENIERÍA

Rolando Chamy ¹ y Elba Vivanco²

Resumen

Las PYMEs deben ser actores estratégicos para el desarrollo productivo, contribuyendo de manera importante a la generación de empleo, seguridad alimentaria, turismo, crecimiento y desarrollo local, con un rol relevante en la preservación del medio ambiente y uso de los recursos naturales. El mercado y la demanda de regulaciones para la sostenibilidad crecen, las empresas que hacen uso efectivo de herramientas para la sostenibilidad y la prestación de bienes y servicios más sostenibles están cada vez más posicionados para impulsar su capacidad de innovación. En esta publicación se muestra el programa CompiteMAS® desarrollado por el Núcleo de Biotecnología de Curauma de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, que busca implementar en las Pymes prácticas sustentables, mediante la medición y mejora de sus indicadores sociales, ambientales y económicos con el propósito de crear valor mediante el aumento de la competitividad y sustentabilidad. Además, gracias al registro de la información productiva ambiental se logra una determinación de ahorro de energía e insumos y también la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otras variables.

¹Ingeniero Civil Bioquímico, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Dr. en Ingeniería Química. Director Núcleo de Biotecnología Curauma. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

²Ingeniera civil Bioquímica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Directora Estratégica Núcleo de Biotecnología Curauma. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

El Problema de las Pymes

Actualmente, un buen desempeño productivo, ambiental y social constituye un eje primordial que muchas empresas, tanto a nivel nacional como internacional. consideran como parámetro competitividad. Sin embargo, iniciar este camino para una PyME no es fácil, es conocida la compleja realidad que viven quienes emprenden este travecto, va sea por los altos costos en insumos y tecnología, el difícil acceso a la información, la falta de apoyo técnico. Lo cierto es que las pequeñas y medianas empresas cumplen un rol fundamental para la economía del país y hoy con la promoción de temas relacionados a la sostenibilidad el panorama de incertidumbre puede cambiar, alcanzando así una mayor competitividad en sus áreas.

Actualmente las Micro. Pequeñas y Medianas **Empresas** enfrentan un escenario altamente competitivo, marcado por desafíos que se han presentado durante la pandemia por Covid-19, que han obligado a los pequeños v medianos negocios a emprender transformaciones para fortalecerse y adaptarse a nuevos modelos de negocio que incorporen el uso de tecnologías y nuevos procesos productivos, la búsqueda de nuevas líneas de negocio, prácticas de transformación digital, integración de innovación para la creación de valor y reinvención de negocios, mejorar la asociatividad y ampliación de redes, etc. Ante estos escenarios, hoy en día la oferta y la demanda no son herramientas suficientes para que una empresa pueda persistir en su rubro, y poder desarrollarse sin preocupación de la inserción de nuevas empresas que puedan satisfacer un nicho que actualmente no ha podido ser satisfecho o a partir de productos innovadores que puedan reemplazar y desplazar a los actualmente disponibles en el mercado.

De acuerdo al Boletín "Análisis descriptivo del impacto de la pandemia sobre las empresas en Chile" realizado por la Unidad de Estudios del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo al año 2021, se estima que en nivel de ventas y empleo, las microempresas fueron el segmento más afectado, entre las cuales, los sectores con mayores caídas en ventas fueron las "Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas", las "Actividades de alojamiento y servicios de comida", las "actividades inmobiliarias y la "construcción". En general, las empresas que se vieron más afectadas en

términos de ventas y generación de ingresos fueron las de la región de Tarapacá, Metropolitana y de Magallanes. Congruentemente, en estas tres regiones se registraron mayores niveles de confinamiento durante 2020.

Chile es uno de los países con mayor número de emprendedores según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE); sin embargo, existen importantes dificultades para que las PYMEs puedan desarrollarse y crecer en un entorno competitivo, debido a la falta de herramientas y capacitación en administración de negocios, gestión comercial, prácticas productivas que se ajusten a las necesidades del mercado, acceso a capital, capacidad exportadora, entre otros. En este contexto, el problema es que las PYMEs en nuestro país carecen de indicadores que midan su sostenibilidad, dado el difícil acceso a metodologías para su cálculo así como falta de capacidades en su registro. Esta situación impide que estas organizaciones puedan, por ejemplo, optar a una certificación, generar reportes de sostenibilidad, visualizar su buen desempeño ambiental o acceder a cofinanciamiento y subsidios de innovación para aumentar competitividad y creación de valor en sus procesos y líneas de negocio.

Los escenarios altamente competitivos no permiten que industrias del área tecnológica se queden atrás, pues la globalización ha permitido que se puedan adquirir productos de otros lugares del mundo, que antes no se encontraban disponibles. Este escenario también se puede visualizar para empresas del área de envasado y venta de productos. Por un lado, la Ley REP ha significado que las empresas tengan que replantearse el ciclo de producción y consumo de sus alimentos, teniendo que buscar nuevas alternativas, no solo de recolección de sus residuos, sino que también de una búsqueda de revaloración que le permita ingresar a nuevos mercados y cumplir con los requerimientos actuales. Por otra parte, empresas que han desarrollado innovaciones en sus procesos, como revalorización de descartes para generar nuevos productos, no quedan exentas de requerir de una continua innovación en sus procesos, con el fin de mantenerse competitivas en el mercado, mejorar sus procesos y visualizar nuevas opciones de productos que actualmente no hayan sido consideradas.

Al incluir la innovación y la sustentabilidad en el modelo organizacional, se busca disminuir la brecha en el desarrollo existente en las PYMEs. Se han detectado baias inversiones en prácticas sustentables, innovación y desarrollo, debido a la falta de conocimientos sobre qué es innovar, a la poca capacidad del mundo académico de hacer frente a las necesidades de las empresas, a la cultura de innovación inexistente o deficiente en las empresas, al desconocimiento de fondos estatales que permitan disminuir inversiones requeridas por las empresas, a la capacidad de presentación de portafolios de proyecto que son deficientes. También se ha detectado desconocimiento de parte de las empresas, en cuanto a cómo poder postular y responder correctamente las preguntas de los formularios desarrollados por CORFO. Todas estas situaciones han demostrado la dificultad en la cual se encuentran las empresas y cada uno de sus trabajadores. para poder detectar nuevas oportunidades de negocio sustentables.

El Programa CompiteMAS®

En el contexto antes descrito, en 2013 en Chile nace CompiteMAS® del Núcleo de Biotecnología de Curauma (NBC) de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, gracias al Fondo de Corfo Bienes Públicos para la Competitividad apoyado por el Ministerio de Medio Ambiente y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ex CNPL). Este Programa permite el registro de información productiva ambiental de forma sencilla y ordenada que, finalmente, se traduce en un manejo confiable de datos para la determinación de ahorros de energía e insumos, y la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero. De esta manera, al disponer de un registro de información confiable, es posible monitorear su avance v verificar el desempeño. Así también, brinda apoyo y asesoría para la implementación de prácticas y mejoras que apunten a generar ahorros, eficiencia productiva y mitigar los impactos del medio ambiente. Asimismo, CompiteMAS® ha logrado escalar en del sector agroalimentario, manufactura e industrias en Perú, Nicaragua y Panamá, logrando validar el método de trabajo e incrementar, en términos generales, la competitividad y sostenibilidad de las empresas intervenidas.

Entre otras cosas CompiteMAS® busca implementar en las Pymes prácticas sustentables por medio de la medición y mejora de sus indicadores sociales, ambientales y económicos, con el propósito de crear valor mediante el aumento de la competitividad y sustentabilidad. Además, gracias al registro de la información productiva ambiental se logra una determinación de ahorro de energía e insumos y también la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

CompiteMAS® permite el registro de información productiva ambiental de forma sencilla y ordenada que, finalmente, se traduce en un manejo confiable de datos para la determinación de ahorros de energia e insumos y la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero. De esta manera al disponer de un registro de informacion confiable es posible monitorear su avance y verificar el desempeño. Así también, brinda apoyo y asesoría para la implementación de prácticas y mejoras que apunten a generar ahorros, eficiencia productiva y mitigar los impactos del medio ambiente.

El Programa se basa en tres pilares básicos:

- 1. Lo que no se puede medir no se puede mejorar
- 2. Las pymes, para acceder a nuevos mercados, deben cumplir normas cada vez más exigentes
- 3. La competitividad está asociada a la sustentabilidad, la cual debe ser no sólo económica, sino que también social y ambiental

Dado lo expuesto, es necesario determinar qué tan competitiva es una pyme, y no existía un indicador único que reflejara los aspectos económicos, ambientales y sociales asociados a la sustentabilidad y la competitividad y que a la vez integrara muchos de los indicadores individuales que la plataforma utiliza.

El equipo CompiteMAS®, con el apoyo de las instituciones asociadas al proyecto Pathways, Baastel (Canadá) y WEC (World Environmental Center, USA) desarrollaron un indicador de Competitividad para las Pymes que está siendo utilizado en varios países latinoamericanos. De esta forma a partir de un indicador numérico cuyo mayor valor es 4, se determina no sólo cuan competitiva es una empresa, sino que, además, les permite medirse y determinar cómo avanza hacia el progreso y el desarrollo.

De esta manera, al disponer de un registro de información confiable, es posible monitorear su avance y verificar el desempeño. Así también, brinda apoyo y asesoría para la implementación de prácticas y mejoras que apunten a generar ahorros, eficiencia productiva y mitigar los impactos del medio ambiente

MÁS SUSTENTABILIDAD, MÁS COMPETITIVIDAD

integral, Como metodología de intervención CompiteMAS® evalúa a las PyMEs para así mejorar todos aquellos aspectos sociales, ambientales v productivos que limitan su crecimiento sostenible. Algunos de estos aspectos son: Gestión de los residuos, tema que involucra desde la aplicación de mejores técnicas disponibles para la reducción de residuos durante los procesos productivos, hasta su manejo y adecuada disposición luego de generados. También se trabaja en planes para el uso eficiente de la energía, esto incluve auditorías energéticas con el fin de establecer planes para disminuir el consumo energético por unidad de producción, impactando costos y reduciendo el uso de energías contaminantes como aquellas que se alimentan de combustibles fósiles. En el aspecto productivo-económico, se trabaja en el cálculo y análisis de costos de producción, presupuestación, planificación operativa y estratégica, desarrollo de planes de inversión y acceso a crédito.

La metodología es una iniciativa que brinda soluciones a las pequeñas y medianas empresas, al medioambiente y también a la sociedad. Con estos pilares como referentes, lo que se hace es recabar información sobre cada PyME, ayudando en su nivel de competitividad mediante la obtención de un índice. Así, se determina cuán competitiva está siendo una empresa al momento de su evaluación, y además se permite medir y determinar cómo avanza hacia el progreso y desarrollo durante la intervención y al finalizar la misma.

De manera más concreta, esta metodología de trabajo reduce consumos de energía, agua y recursos de una pequeña o mediana empresa, brinda asistencia técnica, les facilita el acceso a nuevos mercados, crea nuevas oportunidades de intercambio entre los proveedores, consumidores y las PyMEs; y reduce los riesgos de su

fracaso en el área a la que pertenece. En resumen, es una competitividad no solo económica, sino que social y ambiental.

CompiteMAS® ha demostrado que es posible generar un cambio en los procesos productivos de las pequeñas empresas, que es posible alcanzar mayor competitividad mediante el uso de herramientas sostenibles y que es posible, con pequeñas acciones crear importantes reducciones de gases de efecto invernadero

CHILE Y LATINOAMÉRICA

Como anteriormente se mencionó, CompiteMAS® nace como una iniciativa en Chile en 2013, qué debido a su éxito, también escaló hacia otros países de Latinoamérica, asesorando a PyMEs en temas de sostenibilidad, teniendo un positivo impacto para el crecimiento y desarrollo económico de pequeñas y medianas empresas.

De esta forma, gracias al financiamiento del Concurso Desafío de la Innovación "Caminos a la Prosperidad", financiada por el Departamento de Estado de EE.UU. para encontrar soluciones de alto impacto para PyMEs de Latinoamérica y el Caribe, CompiteMAS® llegó desde el 2015 a Perú, brindando apoyo y soporte a más de 50 Pymes del sector manufactura, agroindustria y turismo, en las ciudades de Lima y Trujillo.

Luego en el 2018, gracias al apoyo de FONDO CHILE, fondo del Ministerio de RREE del Gobierno de Chile, CompiteMAS® escaló a Panamá, Nicaragua y nuevamente a Perú, esta vez de manera simultánea, impactando de forma directa a más de 100 PyMEs agroindustriales y más de 3500 personas, además se logró traspasar las capacidades y la metodología a los socios locales, con lo cual están capacitados para seguir apoyando a más pymes de la región.

Es así como se creó una Red de trabajo y colaboración entre actores del sector público y académico en los tres países, que facilitaron la implementación del proyecto con los socios locales, lo que permitió que se realizaran talleres, seminarios, cursos de capacitación, e implementación directa con las PyMEs. Gracias a estos programas con impacto social, se han generado nuevas capacidades, se ha brindado asistencia técnica, se han creado nuevos negocios con enfoque en la sustentabilidad, se han fortalecido los negocios en más

400 Pymes y beneficiado a más de 3000 personas, gracias a que se trabajó con muchas asociaciones.

Gracias al acercamiento realizado con las distintas empresas e instituciones, actualmente NBC lidera la Red de Innovación e Impacto, iniciativa que reúne a organizaciones – con y sin fines de lucro- de 14 paises para apoyar micro, pequeñas y medianas instituciones (MiPyMEs) con el fin de fomentar el crecimiento económico sostenible y la prosperidad en América Latina y el Caribe (ALC).

En los países en que intervino CompiteMAS® el Programa logró incrementar la competitividad y sostenibilidad de las pequeñas y medianas empresas, mediante planes de Ecomejora, siempre vinculando el compromiso de todos los actores de las sociedades que

han colaborado en hacer esto posible, el nivel técnico y los profesionales que han participado en cada país, siendo una metodología desarrollada de forma exitosa.

Hoy por hoy, CompiteMAS® tiene el desafio de conquistar, desde Chile, nuevos territorios en Latinoamérica apoyando a las Pymes, creando nuevos talentos y transfiriendo conocimiento en temas de sostenibilidad. Esto, bajo el contexto actual de la preocupación por los efectos del cambio climático y la movilización de los recursos que están destinados a abordar temas de sostenibilidad que tienen un bajo dinamismo. Por lo mismo, hay un gran reto en buscar programas y fondos que fortalezcan aspectos de sostenibilidad en todos los sectores productivos. La región, la sociedad y el futuro del planeta lo necesita.

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

EMPRESA CONSTRUCTORA GUZMÁN Y LARRAÍN LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

ENEL GENERACIÓN CHILE S.A.

FLUOR CHILE S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

SUEZ MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

ARCADIS CHILE S.A.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

